

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Katedra vozidel a motorů

Program: B2341 – Strojírenství

Obor: 2301R022 – Stroje a zařízení

Zaměření: Dopravní stroje a zařízení

KOMPRESOROVÁ JEDNOTKA NA STLAČENÝ VODÍK COMPRESSOR UNIT FOR COMPRESSED HYDROGEN

Bakalářská práce

KVM – BP – 188

Jakub Ženatý

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Elias Tomeh - KVM - TUL

Konzultant diplomové práce: Ing. Ľudovít László - KVM - TUL

Počet stran: 46

Počet obrázků: 18

Počet příloh: 2

Počet výkresů: 7

Květen 2012

Místo této stránky originál zadání BP

Kompresorová jednotka na stlačený vodík

Anotace

Tato bakalářská práce řeší problematiku manipulace, úpravy tlaku a skladování stlačeného vodíku. Veškeré práce a postupy jsou navrhovány hlavně s ohledem na bezpečnost provozu a minimalizaci rizik spojenou s provozováním zařízení.

Cílem této práce je navrhnout zařízení, bezpečnostní opatření a postupy pro manipulaci se stlačeným vodíkem využitelné v laboratořích KVM.

Klíčová slova: vodík, kompresor, bezpečnost

Compressor unit for compressed hydrogen

Annotation

This bachelor thesis solves the issue of manipulation, modification of pressure and storing of compressed hydrogen. All the work and methods are suggested having in mind the safety of operations and minimalization of the risks.

The aim of this thesis is to project device, safety precaution and methods for use of compressed hydrogen usable in KVM laboratories.

Key words: hydrogen, compressor, safety

Desetinné třídění:

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2012

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu docentu Eliasi Tomehovi a konzultantovi, panu Ing. Ľudovítu Lászlovi z Katedry vozidel a motorů za poskytnuté rady, metodickou pomoc a odborné vedení, které vedly k vytvoření této práce.

Zdroje obrázků

obr. 1 - obr. 6

Tuček, V., Dvořáková L., Hanzal J.: Vodík, Praha, Červenec 2004

obr. 7 – obr. 8

Vlastní fotografie

obr. 9 - obr. 10

Kaminský, J., Kolarčík, K.: Kompresory, VŠB – TU Ostrava

obr. 11

z nabídky Brotie Technology Company Limited

obr. 12 - obr. 16

výsledky při simulacích

Obr. 17 - Obr. 18

www.tente.cz

Obsah

Seznam symbolů a jednotek.....	9
1. ÚVOD.....	10
2. METODIKA.....	11
3. VODÍK.....	12
3.1. Fyzikální a chemické vlastnosti	12
3.2. Výskyt.....	13
3.3. Výroba.....	13
3.3.1 Kvalitativní požadavky.....	14
4. Bezpečnost.....	16
4.1. Skladování vodíku – umístění.....	16
4.2. Nádoby pro přepravu a skladování vodíku.....	18
4.2.1. Tlakové láhve a svazky tlakových lahví.....	19
4.2.2. Velkokapacitní tlakové zásobníky.....	20
4.2.3. Kapalný vodík.....	21
4.3. Zařízení pro distribuci vodíku u spotřebitele.....	22
4.4. Umístění kompresorové jednotky v prostorách KVM.....	23
5. Kompresory a jejich rozdělení.....	25
5.1. Základní technické údaje kompresorů.....	26
5.2. Výkonnost kompresorů.....	26
6. Kompresorová jednotka.....	30
7. Pravidla přepravy a manipulace s kompresorovou jednotkou na stlačený vodík.....	34
7.1. Přeprava v lahvích.....	34
7.2. Přeprava v bateriových vozech.....	34
7.3. Přeprava kompresoru.....	35
7.4. Pravidla pro manipulaci a obsluhu kompresorové jednotky a systému pro stlačený vodík.....	36
8. Konstrukce podvozku pro Brotie HW-35/7.....	39
9. Závěr.....	44
Seznam použité literatury.....	46
Přílohy.....	47

Seznam symbolů a jednotek

T	K	teplota absolutní
t	°C	teplota
	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	teplo tání
m	kg	hmotnost
V	$\text{m}^3, \text{dm}^3, \text{l}$	objem
p	bar, Pa	tlak
l	m, mm	délka
σ_c		celkový tlakový poměr
V_d	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	objemový průtok
P_{sp}	W	příkon kompresoru
η		účinnost
z		počet stupňů kompresoru
n	s^{-1}	otáčky
$p_{n,l}$	Pa	tlak nasávaného plynu
$t_{n,l}$	°C	teplota nasávaného plynu
t_d	°C	teplota ve výtlačném hrdle stroje
m_k	kg	hmotnost kompresoru
V_v	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	spotřeba chladicí vody
m_{ol}	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	spotřeba oleje
λ	-	využití pracovního prostoru
i	-	počet válců
D	m	průměry válců
s	m	zdvih pístu
V_n	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	nasávané množství plynu
V_o	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	unikání plynu netěsnostmi
V_{jm}	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	jmenovitá výkonnost kompresoru
m_d	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	hmotnostní průtok/výkonnost
$\rho_{n,l}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	hustota nasávaného plynu
r	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	měrná, individuální plynová konstanta

1. ÚVOD

V dnešní době je celý svět více či méně závislý na zásobách fosilních paliv, které nejsou nevyčerpatelné. Výsledkem toho je velký tlak na hledání alternativních zdrojů energie. Sluneční a vodní elektrárny jsou sice schopny vyrobit velké množství energie, ale ta se musí spotřebovat, neboť není způsob jak ji dlouhodobě uchovávat. Také provoz automobilů je závislý na ropě. Existují už sice různé typy elektromobilů, ale jejich zásadní problém pro větší využitelnost a rozšíření je nedostatečný dojezd a dlouhé doby nabíjení baterií. V obou případech je problém se samotnou distribucí. V případě že by se většina provozu automobilů přeorientovala na elektřinu, stávající rozvodné sítě nejsou stavěny na takový odběr.

Oba tyto problémy můžeme vyřešit pomocí vodíku. Tento prvek patří mezi nejrozšířenější prvky ve sluneční soustavě. Vyskytuje se v různých sloučeninách a průmyslově se vyrábí elektrolýzou vody. Může být využit jako palivo pro pístové motory upravené na spalování vodíku, nebo do palivových článků pro výrobu elektřiny, čímž by se zachovaly výhody provozu automobilů bez emisí a současně komfort a zvyklostí uživatelů.

Vodík má ale i své nevýhody. Vzhledem ke své reaktivitě a malé velikosti molekul, která mu umožňuje unikat i těmi nejmenšími netěsnostmi, je potřeba dodržovat bezpečnostní opatření, aby se předešlo nehodám.

Tématem této práce je popsání požadavků a bezpečnostních rizik souvisejících s úpravou tlaku a skladování vodíků podle provozního tlaku.

Dále se tato práce zaměří na provozní tlak kompresoru při dodávání vodíku, jeho vstupní a výstupní parametry při předchozím zadání požadavku na kompresor, aby jej bylo možné využít v rámci laboratoře spalovacích motorů Katedry vozidel a motorů Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

Současně bude vypracován i provozní řád pro užívání kompresoru a též bude navržen způsob pro zajištění mobility této jednotky, včetně rychlostních a jiných omezení v silniční dopravě.

V závěru této práce pak bude shrnuto vše zjištěné a v příloze bude obsažen i výše zmíněný provozní řád, který se vyhotoví na základě zjištěných poznatků a konečných závěrů.

2. METODIKA

V rámci této práce jsem zvolil postup založený na zjištění základních vlastností vodíku, zjištění potřebných náležitostí pro bezpečnou manipulaci s vodíkem a obecných technických parametrů kompresoru na stlačování vodíku analýzou odborné literatury.

Potřebná data ke stanovení základních parametrů kompresoru pro sepsání této práce jsem získal konzultacemi se svým vedoucím práce, konzultantem pro bakalářskou práci a na základě údajů laboratoře spalovacích motorů Katedry vozidel a motorů Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci. Ze získaných údajů jsem stanovil následující:

- Vstupní tlak: atmosférický
- Výstupní tlak: dvě alternativy
 - 6-10 bar
 - 100-160 bar
- Požadované množství: min. $3 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \text{ H}$
- Záruka na kompresor
- Zapojení do rozvodné sítě: max. $3 \times 400 \text{ V}$

Dále jsem zvolil postup, který spočíval v oslovení výrobců kompresorů, na které jsem získal kontakt z webových stránek, zda vyrábějí kompresor s požadovanými parametry a požádal jsem o zaslání jejich technických specifikací.

Z obdržených nabídek kompresorů jsem sestavil hodnotící tabulku, v níž jsem porovnal požadované parametry s údaji z došlých nabídek. Na základě tohoto porovnání jsem pak zvolil nejvhodnější kompresory a vypracoval provozní řády dle českých technických norem. Současně jsem podle technických specifikací nejvhodnějších kompresoru vypracoval možnosti mobility těchto jednotek.

Dále jsem posoudil výrobu nového zařízení zajišťujícího mobilitu s možnostmi zařízení, která jsou již v dnešní době dostupná. Poté, co byla zvolena mobilní zařízení, vypracoval jsem k nim přehled omezení týkající se jejich dopravy.

3. VODÍK

Na začátku práce se zaměřím na představení plynu, který bude plněn do tlakových zásobníků za pomoci kompresoru. Jedná se o vodík, což je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Označuje se písmenem H, toto označení v periodické tabulce prvků vychází z latinského slova Hydrogenium. V dnešní době se využívá jako zdroj energie, redukční činidlo v chemickém a metalurgickém průmyslu a dalších aplikacích. Na počátku století se hojně využíval jako náplň pouťových a meteorologických balónů a vzducholodí. Pro zjištění potřebných vlastností kompresoru, resp. vypracování provozního řádu kompresoru, je potřeba dobře znát fyzikální a chemické vlastnosti vodíku.

3.1. Fyzikální a chemické vlastnosti

Vodík je prvním prvkem v periodické tabulce prvků a má tak číslo 1. Označen je písmenem H. Jeho jádro obsahuje jeden proton a v obalu je jeden elektron umístěný na orbitě 1s. Známý jsou tři izotopy. Určujeme je podle počtu neutronů v jádře. Jedná se o lehký vodík – protium, těžký vodík – deuterium (užívaný v jaderné energetice – řízená jaderná syntéza) a tritium.

Pro účely této práce se blíže zaměříme na vlastnosti lehkého vodíku. Jedná se o lehký plyn bez chuti a zápachu. Vytváří dvouatomové molekuly, které se k sobě přitahují slabými mezimolekulovými interakcemi, čímž způsobují jeho obtížnou zkapalnitelnost. Má nejnižší atomovou hmotnost, malou hustotu a malý atomový poloměr, díky kterým snadno dochází k difúzi do jiných materiálů a snadno uniká i těmi nejnepatrnějšími netěsnostmi ze zásobníků a rozvodných systémů. Při výtoku kapalného vodíku do volného prostoru rychle přechází do plynného skupenství a vytlačuje kyslík. Při styku lidské pokožky s kapalným vodíkem vznikají těžké omrzliny.

Do plynného stavu přechází při teplotě $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při překročení této teploty vzniká riziko výbuchu cisteren a uzavřených nádob, ve kterých je uskladněn. Sám hoření nepodporuje, ale je hořlavý a hoří namodralým plamenem. Pro vznícení musí dojít k iniciaci jiskrou, plamenem nebo vysokou teplotou. Za pokojové teploty je stabilní a jediný prvek, se kterým se za těchto podmínek sloučí je fluor. Po zahřátí je jeho reaktivita mnohem vyšší a vytváří sloučeniny se všemi prvky mimo vzácných plynů. Vodík je jedním ze stavebních kamenů života na Zemi v podobě sloučenin s uhlíkem, dusíkem, kyslíkem a sírou. Má také vysokou tepelnou vodivost.

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti vodíku

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	vodík (H ₂)	deuterium (D ₂)	tritium (T ₂)
Teplota tání [K]	13,957	18,73	20,62
Teplota varu [K]	20,39	23,67	25,04
Teplo tání [kJ/mol]	0,117	0,197	0,250
Výparné teplo [kJ/mol]	0,904	1,226	1,393
Kritická teplota [K]	33,19	38,35	40,6
Kritický tlak [MPa]	1,315	1,665	1,834

3.2. Výskyt vodíku

Čistý vodík se na Zemi vyskytuje jen omezeně v přízemních vrstvách atmosféry jako molekula H₂ a elementární vodík v sopečném plynu. Také se vyskytuje jako složka zemního plynu a v ložiscích uhlí. Ve vesmíru se vyskytuje převážně v elementární podobě ve všech svítících hvězdách i v mezigalaktickém prostoru. Předpokládá se, že vesmír je z 90% tvořen atomy vodíku, a že se vodík podílí ze 75% na hmotnosti vesmíru.

Vázaný vodík je na Zemi obsažen ve vodě, jež pokrývá 2/3 povrchu. Jelikož se jedná o biogenní prvek, tvoří základní kameny všech živých organismů.

3.3. Výroba

Nejčastěji používanou metodou výroby vodíku je v dnešní době zplynování uhlí, dále se vyrábí termickým rozkladem metanu při 1000 °C ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2$) nebo elektrolýzou vody ($2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$). Existuje ještě celá řada dalších možných postupů, z nichž některé se využívají pro výrobu menšího množství vodíku, například pro vlastní potřebu laboratoří nebo může vznikat jako vedlejší produkt jiného výrobního procesu. Tyto postupy ale nejsou svým využitím z hlediska množství tak významné.



Obr. 1. Elektrolyzér na výrobu vodíku

3.3.1. Kvalitativní požadavky

Je dodáván dle ČSN 65 4435 ve třech hlavních druzích, které se podle obsahu hlavní složky označují jako:

vodík 3.0

vodík 4.0

vodík 5.0

Obsah příměsí u jednotlivých druhů vodíku je definován v tabulce uvedené níže.

Tab. 2 Příměsi vodíku podle druhů

Znak jakosti	3.0	4.0	5.0
Vodík, obj. zlomek v %, min	99.9	99.99	99.999
Kyslík, ml/m ³ , max	50	5	2
Dusík, ml/m ³ , max	500	55	3
H ₂ O, ml/m ³ , max	100	20	5
Rosný bod, °C, min	-42	-55	-66
C _m H _n , ml/m ³ , max	-	-	0.5

Pro speciální účely je vodík dodáván i o větší čistotě. V průmyslové praxi jsou často používány různé směsi plynů obsahující vodík. Takové směsi jsou buď dodávány přímo naplněné v tlakových lahvích, nebo je lze připravit mícháním jednotlivých plynů pomocí směšovacího zařízení v místě spotřeby. Mezi nejčastěji používané směsi patří směs argonu

s 2 - 7,5 % vodíku pro svařování metodou WIG a směs dusíku s 0 - 25 % vodíku sloužící pro ochranu kořene sváru. V analytické chemii jsou využívány směsi vodíku s argonem a heliem ve spektrometrii nebo plamenové defektoskopii.

4. BEZPEČNOST

Vodík je poměrně nebezpečný plyn, již při 15% koncentraci může při kontaktu s otevřeným plamenem dojít k hoření. Při jakékoli manipulaci s ním je potřeba dodržovat bezpečnostní opatření, která budou podrobněji rozepsána v následujících podkapitolách. Provozní řád musí být vypracován na základě fyzikálních a chemických vlastností vodíku a v souladu s českými technickými normami. Je nutné si při sestavování provozního řádu, který má minimalizovat nebezpečí hrozící při manipulaci s tímto plynem, uvědomit, že je důležité jej vypracovat tak, aby odpovídal nakládání s tímto plynem a současně potřebám provozu zařízení, ve kterém bude docházet k manipulaci s tlakovými nádobami s tímto plynem.

4.1. Skladování vodíku - umístění

Norma, která stanovuje požadavky a pravidla pro skladování plynů, je ČSN 07 8304. Podle této normy jsou budovy a prostory, ve kterých jsou umístěny zásobníky na vodík, upravovány tak, aby splňovaly následující podmínky:

- 1) Vodík se skladuje mimo uzavřené budovy, v dobře odvětrávaných prostorách chráněných před povětrnostními vlivy a přímým slunečním zářením. Ideálním příkladem takového prostoru je přístřešek s částečně otevřenými bočními stěnami.
- 2) V případě, že bude vodíkový systém instalován uvnitř uzavřené budovy, je nutné zajistit, aby v prostoru, ve kterém dojde k instalaci systému, byla zajištěna výměna celého objemu vzduchu, a to minimálně 3x za hodinu. Je vhodné toto odvětrávání instalovat u stropu, neboť vzhledem ke své váze má vodík tendenci hromadit se při stropu místnosti. Vyústění odvětrávání je třeba navrhnout tak, aby nemohlo dojít k ovlivnění funkčnosti povětrnostními podmínkami, například tlakem větru. Dále by nemělo docházet k hromadění plynu v jiném prostoru v okolí budovy, například pod převislou částí střechy. Tyto větrací prvky je potřeba zajistit odděleně od ostatních ventilačních systémů, tzn. nenapojovat je na sběrná potrubí. Toto doporučení vyplývá z výše uvedené technické normy.
- 3) Je-li nutné využít nuceného větrání pomocí ventilátoru, má být potřebný výkon rozdělen mezi více ventilátorů, aby v případě poruchy jednoho bylo stále zajištěno

odvětrávání rizikových místností. Vzduch pak musí být nasáván z bezpečného prostoru.

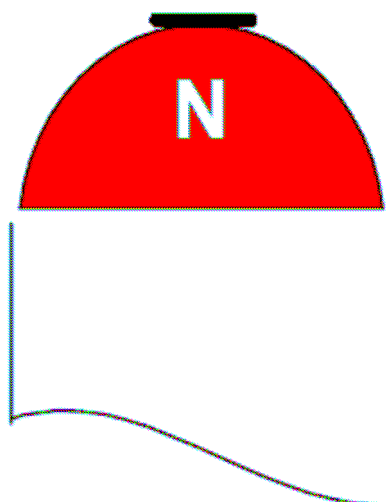
- 4) Musí být provedeno opatření k zamezení vniknutí vodíku do instalačních šachet, potrubí, schodišť a chodeb, které jsou přímo spojeny s místy, jež byly navrženy jako bezpečné prostory. Dále je třeba zajistit, že místo bude snadno dosažitelné pro distribuční vozidla, zásahovou techniku a rychlou evakuaci personálu pro případ nouzové situace.
- 5) Vymezený prostor, kde dochází k manipulaci s vodíkem, se nesmí nacházet pod vedením vysokého napětí. Dále je potřeba vyloučit veškeré zdroje vznícení (statická elektřina, hořáky atd.), aby nemohlo dojít ke vzplanutí vodíku.
- 6) Lahve s vodíkem musí být zajištěny proti pádu a nesmí se skladovat spolu s látkami podporujícími hoření. V okolí lahví nesmí být topná tělesa, parní potrubí ani žádné jiné zdroje sálavého tepla, které by mohly způsobit nebezpečné ohřátí láhví.
- 7) Aktivita, které nesouvisí s provozem vodíkového zařízení, by měly být provozovány v dostatečné vzdálenosti od tohoto zařízení. Doporučené bezpečné vzdálenosti jsou uvedeny v níže uvedené tabulce „Minimální doporučené bezpečnostní horizontální vzdálenosti pro vodíkové stanice“.
- 8) Sklady nádob musí být chráněny proti účinku úderu blesku podle normy ČSN EN 62305.
- 9) Sklad, ve kterém jsou nádoby na vodík umístěny, může být vytápěn pouze teplovodním ústředním topením, parním nízkotlakým topením, teplým vzduchem nebo elektrickým vytápěním. Je zakázáno použít přímé vytápění zařízeními na tuhá, kapalná nebo plynná paliva.
- 10) Na dveřích skladu musí být vyvěšena tabulka s označením skladovaných plynů, se zákazem kouření a manipulace s otevřeným ohněm a zákaz vstupu nepovolaným osobám.
- 11) U skladu i před vchodem do skladu musí být umístěny hasicí přístroje vhodného typu s odpovídající hasicí schopností. Spotřeba vody se určuje podle normy ČSN 73 0873.

Tab. 3. Minimální doporučené bezpečnostní horizontální vzdálenosti pro vodíkové stanice

Typický druh venkovní expozice	Vzdálenost od možných zdrojů úniku (m)
1. Otevřený oheň a další zdroje vznícení (včetně elektrických)	5
2. Hranice provozovny a místa, kde se budou lidé pravděpodobně shromažďovat, jako jsou vozové parky, jídelny atd.	8
3. Dřevěné budovy nebo stavby	8
4. Otvory ve zdech v kancelářích, dílnách	5
5. Nad zemí hromadně skladované hořlavé kapaliny a uskladnění LPG v souladu s národními zákony tam, kde existují, pro specifické látky. Jinak	8
6. Pod zemí hromadně skladované hořlavé kapaliny a LPG	
6.1 Nádrž (horizontální vzdálenost od pláště)	3
6.2 Větrání nebo připojení	5
7. Uskladnění tlakových lahví s hořlavými plyny jinými než vodík	5
8. Uskladnění plynného kyslíku (v tlakových lahvích)	5
9. Skladování tekutého kyslíku (kapacita cisterny menší než 125 000 litrů)	8
10. Uskladnění nehořlavých kryogenních kapalin kromě kyslíku, např. argon, dusík	5
11. Uskladnění hořlavého materiálu, například dříví	8

4.2. Nádoby pro přepravu a skladování vodíku

Pro dodávky plynného vodíku, nejen pro účely průmyslu, ale i pro potřeby spotřebitelů v jiných odvětvích, dochází k jeho transportu v tlakových lahvích, svazcích tlakových lahví nebo pomocí bateriových vozů do vysokotlakých zásobníků. Zásobníky mají své charakteristické označení, aby nemohlo dojít k záměně s jinými plyny. Označení těchto vysokotlakých lahví je provedeno dle ČSN EN 1089–1 Lahve na přepravu plynů – Označování lahví (kromě lahví na LPG) – Část 1: Značení ražením (07 8500), ČSN EN 1089– 2 Lahve na přepravu plynů – Označování lahví (kromě lahví na LPG) – Část 2: Informační nálepky (07 8500), ČSN EN 1089–3 Lahve na přepravu plynů – Označování lahví – Část 3: Barevné značení (07 8500), ČSN ISO 7225 Lahve na přepravu plynů – Bezpečnostní nálepky (07 8501).



Obr. 2 Barevné označení lahví s vodíkem



Obr. 3 Nálepka na lahve s vodíkem

4.2.1. Tlakové lahve a svazky tlakových lahví

Tlakové lahve pro plnění vodíkem jsou vyrobeny z legované, chrommolybdenové oceli a mají obvykle hmotnost 61 kg, vodní objem 50 litrů a jsou plněny na tlak 200 bar. Naplněny obsahují cca 8,9 m³ vodíku, což odpovídá 0,75 kg, poměr hmotnosti obalu a náplně je 80:1. Vedle nejčastěji používaných padesátilitrových tlakových lahví jsou, zvláště pro čistější druhy vodíku, používány tlakové lahve o vodním objemu 10 litrů a 2 litry. Při větších spotřebách vodíku je vodík dodáván ve svazcích tlakových lahví. Svazek pevně spojených lahví obsahuje 12 kusů tlakových lahví a při tlaku 200 bar pojme obvykle 107 m³ vodíku.

Pro ilustraci je možné na níže uvedeném obrázku č. 4 vidět svazky tlakových lahví a způsob jejich skladování.



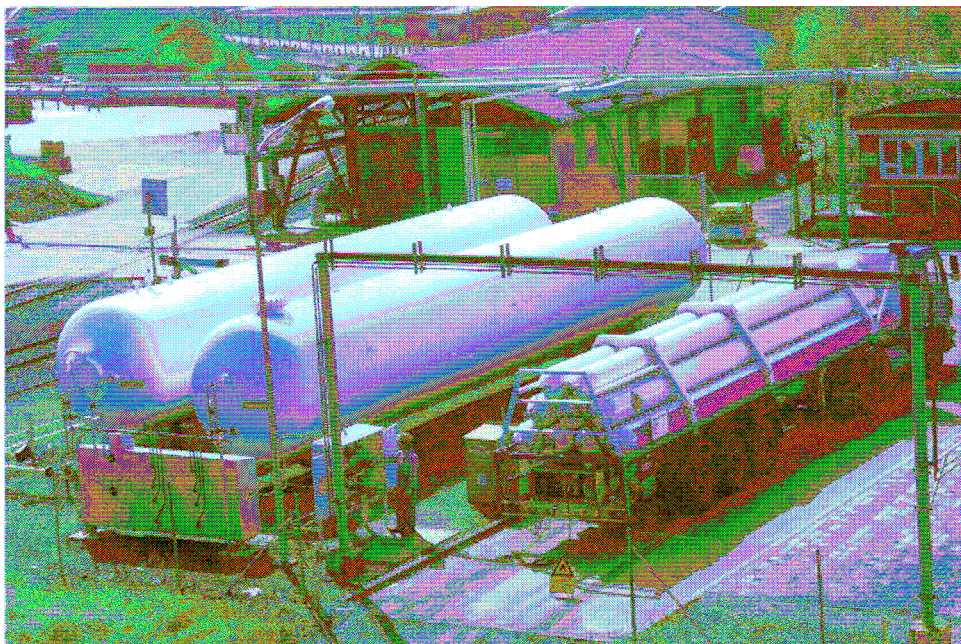
Obr. 4 Sklad tlakových lahví

4.2.2. Velkokapacitní tlakové zásobníky

V případě vysokých spotřeb vodíku je logisticky výhodnější poskytovat vodík spotřebiteli v bateriových vozech, kdy je možné vodík z bateriového vozu přetlačit do tlakového zásobníku, trvale umístěného u spotřebitele.

Bateriové vozy jsou vybaveny buď větším množstvím tlakových lahví o standardní velikosti 50 litrů, nebo devíti kusy pevně upevněných dlouhých ležatých tlakových nádob. Vodní objem obou typů bateriových vozů činí cca 20 m³ a při plnicím tlaku 200 bar přepraví cca 4000 m³ vodíku.

Tlakové zásobníky pro skladování vodíku v místě spotřeby jsou standardizované válcové tlakové nádoby o pracovním tlaku 50 bar, které se umísťují buď do vertikální, nebo horizontální polohy. Zásobníky jsou vyráběny o vodním objemu 25, 50 a 95 m³. Pro názornost jsou oba typy zásobníku znázorněny na obrázku č. 5.



Obr. 5 Velkokapacitní tlakové zásobníky

4.2.3. Kapalný vodík

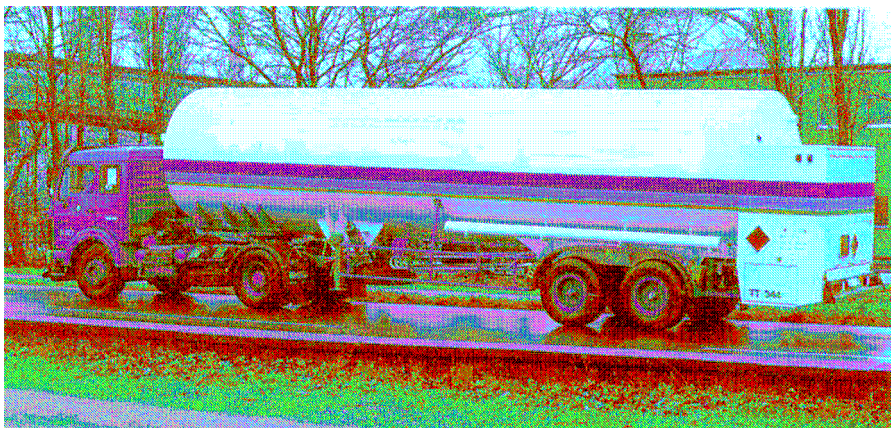
Pro spotřebitele, kteří potřebují zajistit vysokou jistotu zásobování při velmi vysoké hodinové spotřebě vodíku, je možné zajistit dodávky pomocí kapalného vodíku.

Na rozdíl od výroby kapalných vzdušných plynů, jsou výroba a zkapalnění vodíku dva separátní energeticky náročné procesy. Díky velmi nízké kondenzační teplotě vodíku ($-252,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) a současně při nízké účinnosti zkapalňovacích zařízení, je proces zkapalnění vodíku podstatně nákladnější než například zkapalnění dusíku.

Pro zkapalňování vodíku se využívá nejčastěji Claudova procesu, který lze krátce popsat ve čtyřech krocích:

1. stlačení vodíku a odvedení kompresního tepla
2. předchlazení kapalným dusíkem
3. expanze v expanzní turbíně a s tím spojené ochlazení
4. expanze na Joule - Thomsonově ventilu – další ochlazení až ke zkapalnění

Autocisterna s kapalným vodíkem má přepravní kapacitu 5 000 až 47 000 litrů, což odpovídá cca desetinásobku transportní kapacity konvenčních 200 barových bateriových vozů. Kapalný vodík je z cisterny plněn čerpadlem do kryogenního zásobníku. K dispozici jsou zásobníky o skladovací kapacitě 5 000 až 47 000 m^3 vodíku.



Obr. 6 Autocisterna s kapalným vodíkem

4.3. Zařízení pro distribuci vodíku u spotřebitele

Distribuce vodíku u spotřebitele může být na místo přímé manipulace s vysokotlakými lahvemi zajištěna pomocí potrubí, kterým se vodík distribuuje do jednotlivých zařízení u spotřebitele. Potrubí distribuující vodík musí být jasně označeno barevným kódováním nebo štítky.

Připojovací ventily musí být instalovány s ohledem na možnost bezpečného odpojení v případě nouzové situace. Toto je třeba mít na zřeteli obzvláště tam, kde vodíkové potrubí vstupuje do budov.

Odvětrávání pojistných přetlakových zařízení musí být navrženo s ohledem na znemožnění kumulace vlhkosti na přetlakových zařízeních, která by mohla vést k jejich zamrznutí a omezení nebo znemožnění jejich správné funkce.

Upřednostňovaným materiálem pro výrobu zařízení je nerezová ocel nebo slitiny mědi, z důvodu minimalizace rizika vznícení kvůli korozním částicím. Pro odvětrávání platí stejná pravidla jako u skladování vodíku.

V případě, že je nutné, aby bylo vodíkové potrubí vedeno stejnou šachtou, kolektorem nebo výkopem jako jiné sítě a rozvody, je potřeba zachovat alespoň 50 mm odstup od ostatních sítí a má být umístěno nejvýše z nich. Veškeré spoje v tomto případě musí být provedeny svářením nebo pájením natvrdo.

Pro jakékoli vodíkové potrubí se nesmí používat litinové trubky a tvarovky. Použití odlitků se celkově nedoporučuje z důvodů rizika propouštění vodíku a poréznosti materiálů.

U prostředí, kde je pravděpodobný výskyt amoniaku, ve formě příměsí i jako znečištění vzduchu, se nesmí využívat měď a slitiny na bázi měď – cín – zinek na trubky, tvarovky ani jiné součásti, jelikož jsou tyto materiály náchylné k amoniakem způsobené korozi.

Veškeré znečištění prostředí je třeba brát v potaz při návrhu rozvodů a zařízení, a pokud se mu nedá přímo vyhnout, navrhnout alespoň preventivní opatření.

4.4. Umístění kompresorové jednotky v prostorách KVM

Pro umístění jednotky bylo zvoleno místo vedle nově vybudovaného Centra pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. Byly zde zbudovány prostory, které přesně splňují parametry uvedené výše – jedná se o přístřešky s otevřenými dvěma stěnami chráněnými mříží. Tímto je zajištěno, že bude prostor dostatečně odvětrán a nehrozí kumulace vodíku a je zabráněno přístupu nepovolaných osob.



Obr. 7 Umístění jednotek v prostorách KVM



Obr. 8 Umístění jednotek v prostorech KVM

5. KOMPRESORY A JEJICH ROZDĚLENÍ

V této kapitole si představíme kompresory skrze jejich technické parametry, výkon a použití. Kompresory bývají různého provedení a uspořádání. Rozdělují se zejména podle:

- stlačovaného média na kompresory vzduchové a plynové
- počtu stupňů na stroje jednostupňové a vícestupňové
- celkového tlakového poměru σ_c na:

dmyhadla $\sigma_c < 3$

nízkotlaké kompresory $\sigma_c = 3$ až 25

středotlaké kompresory $\sigma_c = 25$ až 100

vysokotlaké kompresory $\sigma_c = 100$ až 300

hyperkompresory $\sigma_c > 300$

- dosahované výkonnosti V_d na:

kompresory malé, jestliže $V_d < 150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

kompresory střední, jestliže $V_d = 150$ až $5\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

kompresory velké, jestliže $V_d > 5\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Kompresory lze dále členit na chlazené vzduchem nebo vodou, na stacionární, přenosné a pojízdné. Kompresory určené k odsávání plynů z uzavřených prostor jsou vývěvy. Jednotky s malým tlakovým poměrem a zvýšeným tlakem se nazývají dotlačovací. Jestliže pracují v uzavřeném technologickém okruhu, jsou označovány jako kompresory oběhové. Speciální provedení vyžadují chladicí kompresory stlačující chladiva.

S počtem stupňů souvisejí celkové provozní náklady kompresorové jednotky, které jsou rozhodujícím ekonomickým kritériem. Pro požadovaný výstupní tlak plynu za kompresorem je minimální počet stupňů u objemových kompresorů omezen přípustnými teplotami plynu ve válci. Investiční náklady kompresorů, jež jsou takto navrženy, spolu s porovnávací účinností jsou ale nižší. Opakem tohoto je dražší stroj s maximálním, ekonomicky přijatelným počtem stupňů, který ale pracuje s nejvyšší možnou účinností a nejmenší spotřebou energie. Z pohledu celkových nákladů je u velkých kompresorů

s dlouhodobým provozem rozhodující spotřeba energie a u krátkodobě využívaných malých strojů pořizovací náklady.

5.1. Základní technické údaje kompresorů

Technickými údaji jsou popsány vlastnosti a hlavní parametry strojů. Jedná se zejména o:

Tab. 4 Hlavní parametry kompresorů

- celkový tlakový poměr	$\sigma_c = P_d/P_{n,l}$	-
- výkonnost pístového kompresoru	V_d	$m^3 \cdot s^{-1}, m^3 \cdot h^{-1}$
- celkový příkon kompresoru	P_{sp}	W
- účinnost kompresoru	η	-
- počet stupňů	z	-
- otáčky kompresoru	n	s^{-1}, min^{-1}

Ve firemní literatuře se uvádí zpravidla také:

Tab. 5 Další udávané parametry kompresorů

- tlak nasávaného plynu	$p_{n,l}$	Pa
- teplota nasávaného plynu	$t_{n,l}$	°C
- teplota ve výtlačném hrdle stroje	t_d	°C
- hmotnost kompresoru	m_k	kg
- spotřeba chladicí vody	V_v	$l \cdot s^{-1}$
- spotřeba oleje	m_{ol}	$kg \cdot s^{-1}$

a u objemových kompresorů pak dále:

Tab. 6 Parametry objemových kompresorů

- využití pracovního prostoru	λ	-
- počet válců	i	-
- průměry válců	D	m
- zdvih pístu	s	m

5.2. Výkonnost kompresorů

Z hlediska využitelnosti kompresorů je výkonnost základním parametrem. Definuje se jako objemový průtok V_d sacím hrdlem kompresoru dopravovaný až do spotřebiče.

Výkonnost V_d je jen částí množství plynu nasávaného sacím hrdlem V_n , které je ovlivňováno unikáním plynu netěsnostmi V_o do okolí.

$$V_d = V_n - V_o \text{ (m}^3 \times \text{s}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

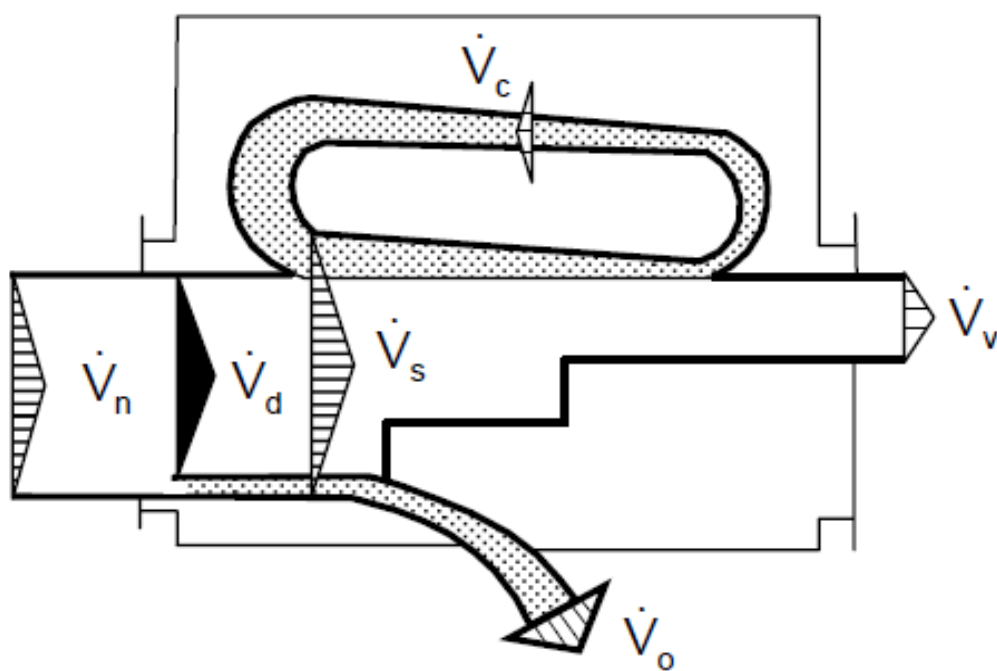
Tato veličina není ovlivněná výkyvy barometrického tlaku ani teplotou nasávaného plynu, takže se v průběhu chodu stroje nemění, nedojde-li k jeho poruše. Je ovšem závislá na současném technickém stavu stroje, celkovém tlakovém poměru σ_c , a zejména pak stavu (opotřebení) těsnících součástí pracovního prostoru stroje. V provozu také nelze vyloučit stav pojistných ventilů.

Srovnáním naměřené současné výkonnosti V_d a jmenovité výkonnosti V_{jm} můžeme posoudit stupeň opotřebení.

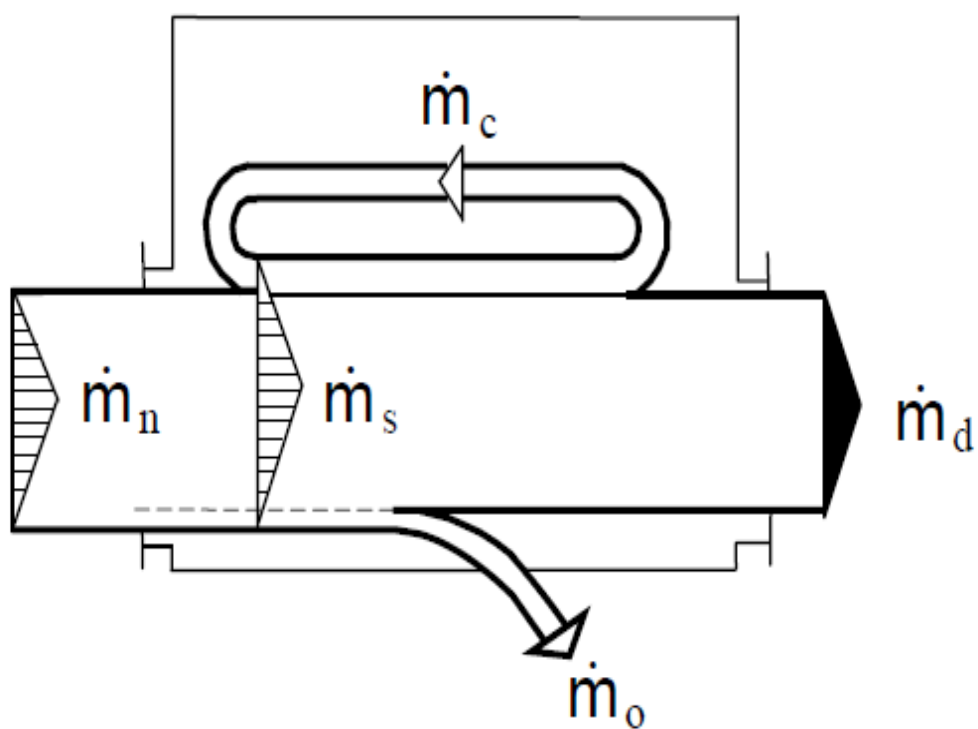
Pro vyjádření dopravovaného množství plynů kompresorem se využívá hmotnostní výkonnost m_d ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), což je hmotnostní průtok plynu výtlačným hrdlem stroje.

Stlačitelnost plynů nás nutí sledovat a vyhodnocovat hmotnostní i objemové proudy pomocí zjednodušených schémat. Pomáhají nám taky sledovat závislost výkonnosti kompresoru V_d na nasávaném množství V_n i vnějších objemových ztrátách V_o .

Důsledkem narůstajících cirkulačních proudů V_c , jež vnikají do prvního stupně vnitřními netěsnostmi kompresoru, klesá množství plynu nasávaného do pracovního prostoru, jelikož maximální množství plynu, jež je možné nasát do pracovního prostoru V_s , je dáno součtem proudů $V_n + V_c$.



Obr. 9 Objemové průtočné schéma kompresorů



Obr. 10 Hmotnostní průtočné schéma kompresorů

Vztah mezi hmotnostní výkonností zjištěnou měřením ve výtlačném potrubí a současnou výkonností je popsán vztahem

$$m_d = V_d \times \rho_{n,l} \text{ (kg} \times \text{s}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

Hustota plynu $\rho_{n,l}$ nasávaného prvním stupněm kompresoru je v závislosti na jeho tlaku $p_{n,l}$ a teplotě $T_{n,l}$ v sacím hrdle udána stavovou rovnicí

$$\rho_{n,l} = \frac{p_{n,l}}{r \times T_{n,l}} \text{ (kg} \times \text{m}^{-3}\text{)}, \quad (3)$$

což vysvětluje příčinu toho, že se dopravované množství (hmotnostní výkonnost) v průběhu dne i roku výrazně mění.

Přestože je využívání hmotnostní výkonnosti m_d pro určení dopravovaného množství plynu nejvýhodnější, v technické praxi se příliš neujalo. Stále je místo toho využíván přepočet na objemový průtok, takzvaný standardní stav $V_{d,N}$, pomocí vztahu (4). Výrobci kompresorů je téměř výhradně využíván „normální stav technický“ na rozdíl od „normálního stavu fyzikálního“, jež byl zaveden dříve.

$$m_d = \frac{V_{d,N} \cdot p_N}{r \times T_N} \text{ (kg} \times \text{s}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

V této rovnici je:

- r měrná individuální plynová konstanta,
- p_N normální (standardní) tlak 100 kPa = 1bar (dříve 101,325 kPa),
- T_N normální (standardní) teplota 293,16 K = 20°C (dříve 273,16 K).

Název „standardní“ je zaváděn mezinárodní normou ČSN ISO 8011.

6. KOMPRESOROVÁ JEDNOTKA

V předchozích kapitolách byla blíže přiblížena sledovaná problematika z technického hlediska. V této kapitole se zaměříme na hlavní problematiku, kterou se tato práce zabývá, a to na výběr vhodného kompresoru dle zadání práce. Základní technické parametry kompresoru odpovídají potřebě laboratoře spalovacích motorů Katedry vozidel a motorů Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci (dále též „KVM“) a bylo dohodnuto, že se jedná zejména o následující parametry:

- vstupní tlak atmosférický
- výstupní tlak 6-10 bar, 100-160 bar

Všechny dohodnuté parametry jsou již jednou uvedeny v rámci kapitoly 2 této práce, nazvané „Metodika“. Výše uvedené parametry jsem uvedl z toho důvodu, že tyto požadavky není možné splnit jednou jednotkou. Pro účely této práce je řešením pořízení dvou samostatných jednotek, které požadované parametry splňují.

Jak již bylo uvedeno v kapitole „Metodika“, bylo osloveno několik dodavatelů kompresorů. Jednalo se např. o Shanghai Davey Machinery Co., Ltd., Brotie Technology Company Limited, Sichuan South Gas Compressor Co., Ltd., Hefei Futen Industrial Automation Co., Ltd., INDIAN COMPRESSORS LTD. Firmám byly specifikovány potřebné parametry a zaslán požadavek na nabídku odpovídajícího kompresoru. Jediná společnost, která reagovala na poptávku zasláním nabídky, byla společnost Brotie Technology Company Limited. Jednalo se o následující kompresory:

Pro výstupní tlak 7 bar:

Tab. 7. Bezmazný vodíkový kompresor Brotie HW-35/7

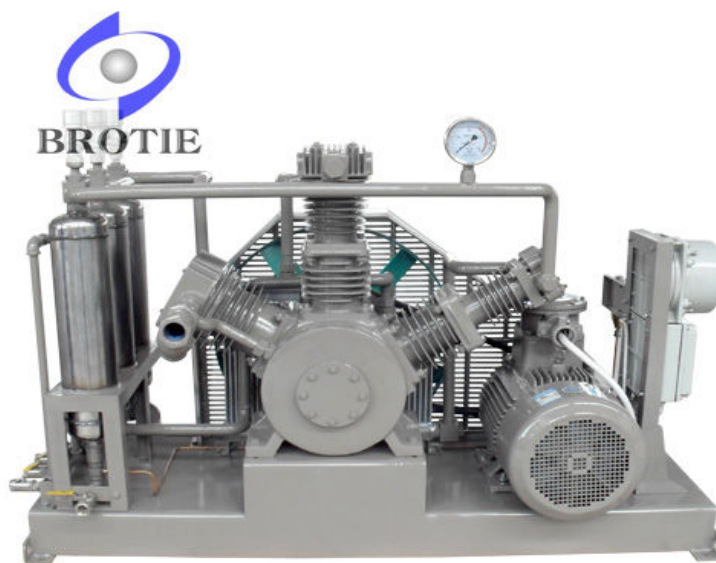
Model	HW-35/7	Odolnost před výbuchem	třída D□CT4
Objemový průtok	35 Nm ³ h ⁻¹	Otáčky	600 r.min ⁻¹
Stupně komprese	3	Nutný příkon	5.5 kW
Vstupní tlak	Atmosférický	Průměr hrdla vstupu	40 mm
Výstupní tlak	7 bar	Průměr hrdla výstupu	20 mm
Výstupní teplota	≤50 °C	Hmotnost	650 kg
Teplota okolí	Normální podnebí (-20 až 30 °C)	Vnější rozměry	1650*850*1400 mm
Chlazení	vodou 0.5 t/h	Cena	USD 17 800,-
Mazání	Bez mazání	Záruka	360 dní

Výstupní tlak 150 bar:

Tab. 8. Membránový vodíkový kompresor Brotie GL130-35/150

Model	GL130-35/150	Nutný příkon	22 kW
Objemový průtok	130 Nm ³ h ⁻¹	Objem oleje	120 l
Vstupní tlak	Atmosférický	Hmotnost	4000 kg
Výstupní tlak	150 bar	Rozměry	2000*1400*1650 mm
Výstupní teplota	≤45 °C	Cena	USD 88 250,-
Teplota okolí	Normální podnebí (-20 - 30 °C)	Záruka	360 dní
Chladicí systém	vodní, 3 t.h ⁻¹		

Pro bližší ilustraci zařízení jsem použil fotografii zařízení Brotie HW-35/7, na které přišla nabídka.



Obr. 11 Brotie HW-35/7

Zaslaná nabídka byla porovnána s požadovanými parametry, jak je uvedeno v následující tabulce, a oba modely požadavkům vyhověly pro různé výstupní tlaky. Pro účely následného využití je pak tedy nutné získat oba dva modely.

Tab. 9 Porovnávací tabulka

	Požadavek	Brotie HW-35/7	Splnil/ Nesplnil	Brotie GL130-35/150	Splnil/ Nesplnil
Vstupní tlak	atmosférický	atmosférický	Splnil	atmosférický	Splnil
Výstupní tlak 1	6-10 bar	7 bar	Splnil	-	Nesplnil
Výstupní tlak 2	100-160 bar	-	Nesplnil	150 bar	Splnil
Požadované množství	3 kg.h ⁻¹ H (36 Nm ³ h ⁻¹)	35 Nm ³ h ⁻¹	Splnil	130 Nm ³ h ⁻¹	Splnil
Záruka na kompresor	12 měsíců	12 měsíců	Splnil	12 měsíců	Splnil
Zapojení do rozvodné sítě	max 3*400 V	3*400V	Splnil	3*400 V	Splnil

Dále byla posouzena možnost mobility těchto zařízení a po analýze parametrů těchto zařízení byl vytvořen následující závěr: pro obě jednotky je možné zhotovit zařízení pro mobilitu bez závislosti na externím dodavateli. V obou případech by se jednalo o podvozek s otočnými kolečky, který umožňuje manipulaci na místě provozování jednotky. U větší jednotky by ale tento způsob vzhledem k jeho hmotnosti nebyl nejlepší, neboť by při přesunu mohlo snadno dojít k nehodě – například ujetí i z poměrně mírného svahu, kdy by bylo obtížné ho zastavit jednou osobou, a proto je návrh tohoto podvozku uveden jen pro menší jednotku.

Zařízení s hmotností větší jednotky se standardně jako mobilní nepoužívají a jsou umístěna pouze jako stacionární. Proto se v případě mobility této jednotky budu věnovat pouze možnosti montáže na vozidlo.

Pro přemísťování mezi areály by ale byla pravidla a možnosti přemísťování rozdílné. Pro převoz Brotie HW-35/7 je vzhledem k váze a rozměrům možné použít jakékoli užitkové vozidlo nebo přívěs, které mají dostatečnou užitečnou hmotnost, a na který může být jednotka naložena manipulační technikou, jež má KVM k dispozici. Jednotka by při převozu musela být náležitě zajištěna proti možnému pohybu v nákladovém prostoru vozidla.

Vzhledem k hmotnosti Brotie GL130-35/150 pro manipulaci nestačí standardní manipulační technika, kterou je vybavena laboratoř KVM, jelikož portálový jeřáb má nosnost

pouze 3000 kg a ostatní technika maximálně 1000 kg. Možnými variantami jsou namontování kompresoru na samostatné vozidlo nebo brzděný přívěs.

V případě, že by se jako možnost volilo vozidlo, je nutné, aby užitečná hmotnost vozidla byla alespoň 4300 kg (váha kompresoru, posádky a příslušenství, které by bylo dopravováno spolu s jednotkou). Tomuto zadání vyhovuje například Mitsubishi Fuso Canter 7C14 které se vyrábí s užitečnou nosností 4890 kg a podvozkem o rozvoru náprav 2759 mm. Jako podvozek pro jednotku by byl ideální vzhledem k celkovým rozměrům, které by nebyly zbytečně naddimenzované a dostatečné nosnosti, díky níž by bylo možno převážet i další materiál. Tato varianta je oproti přívěsu výhodnější z hlediska manipulace s jednotkou, ale je finančně náročnější a vyžaduje větší prostor pro umístění jednotky, jemuž by zbudovaný přístřešek nebyl dostatečný.

Jako alternativu by bylo možné využít pro převoz jednotky samostatný brzděný přívěs. Tato varianta se jeví jako výhodnější z hlediska pořizovacích nákladů, nákladů na údržbu a celkových rozměrů, neboť přívěs by bylo možno využít takový, který nebude mít ložnou plochu výrazně větší než je půdorys kompresoru. Výhodou by také bylo, že by přívěs bylo možno umístit do uvedeného přístřešku.

V obou případech by ale kompresorová jednotka musela být pevně připojena k ložné ploše přepravního vozidla.

Přesná pravidla pro převoz, manipulaci a používání jednotek jsou uvedena v kapitole 7. PRAVIDLA PŘEPRAVY A MANIPULACE S KOMPRESOROVOU JEDNOTKOU a v příloženém provozním řádu obou těchto jednotek, které byly vypracovány pro oba modely kompresorů a jsou přílohou této bakalářské práce (č. 1 pro Brotie HW-35/7 a č. 2 Brotie GL130-35/150). Provozní řády byly vypracovány v souladu s ČSN 38 6405 - Plynová zařízení - Zásady provozu.

7. PRAVIDLA PŘEPRAVY A MANIPULACE S KOMPRESOROVOU JEDNOTKOU

V rámci této práce je dále nutné stanovit podmínky pro přepravu a manipulaci s kompresorovou jednotkou. Po výstupu z kompresoru je stlačený vodík skladován v tlakových nádobách, které jsou podle Evropské dohody o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí (ADR) zařazeny takto:

Tab. 10 Zařazení vodíku podle ADR

UN číslo:	1049
třída:	2
klasifikační kód:	1F
bezpečnostní značka:	2.1
přepravní kategorie:	2
identifikační číslo nebezpečnosti:	23

Nejdříve se budeme zabývat způsobem přepravy stlačeného vodíku.

7.1. Přeprava v lahvích

Přeprava v lahvích musí být prováděna podle platných ustanovení ADR. Lahve musí splňovat požadavky pokynů pro balení P200 ADR, musí být řádně označeny a náklad musí být na vozidle upevněn proti posunutí. Je nutné dodržet požadavky na zákaz společné nakládky s některými dalšími nebezpečnými věcmi, viz. kapitola 7.5.2 ADR. Vozidlo musí být vpředu i vzadu označeno oranžovou tabulí. Ve vozidle musí být výbava pro případ nehody předepsaná dle ADR a písemných pokynů a řidič vozidla musí být řádně proškolen a musí mít u sebe platnou průkazku ADR. Odesílatel je povinen přiložit k zásilce řádně vyplněný nákladní list a pokyny pro případ nehody. Do 333 l celkového vodního objemu přepravovaných lahví lze použít ustanovení 1.1.3.6 ADR – vynětí z platnosti pro množství přepravovaná jednou dopravní jednotkou. Toto ustanovení umožňuje určité úlevy z požadavků ADR, např. vozidlo nemusí být označeno 15 oranžovými tabulemi, řidič nemusí být držitelem průkazky ADR, ale pouze proškolen jako ostatní osoby zúčastněné na přepravě nebezpečných věcí atd.

7.2 Přeprava v bateriových vozech

Bateriový vůz pro přepravu stlačeného vodíku musí odpovídat požadavkům kapitoly 6.8 ADR, týkající se schvalování typu, inspekce, zkoušení a značení bateriových vozidel,

musí absolvovat pravidelné předepsané prohlídky a být řádně označen. Pro jízdní soupravu jsou požadavky na označení následující:

- vpředu a vzadu oranžová tabule s identifikačním číslem nebezpečnosti a UN číslem,
- na bocích a zadní části bateriového bezpečnostní značky 2.1.

Tahač i podvozek bateriového vozidla musí být v provedení FL. Jízdní souprava musí být vybavena prostředky podle požadavků ADR a písemnými pokyny pro případ nehody, posádka musí být držitelem platného osvědčení o absolvování školení ADR pro přepravu nebezpečných věcí v cisternách a bateriových vozech. Odesílatel je povinen přiložit k zásilce řádně vyplněný nákladní list a pokyny pro případ nehody. Pro přepravu prázdného, nevyčištěného bateriového vozidla platí stejné požadavky jako pro přepravu plného bateriového vozidla.

7.3. Přeprava kompresoru

Pro přepravu samotného kompresoru můžeme vycházet z výše uvedených zásad pro převoz nádob na stlačený vodík. V případě, že byl kompresor vyčištěn a není již v něm žádné zbytkové množství vodíku, může být přepravován jako jakékoli jiné strojní zařízení, v závislosti na jeho velikosti. V případě, kdy je možné, že obsahuje ještě nějaký zbytkový vodík, mělo by se s ním zacházet jako s prázdným nevyčištěným bateriovým vozidlem.

Kompresor Brotie HW-35/7, jež byl vyčištěn od zbytkového vodíku, může být přepravován jako náklad pomocí lehkého užitkového vozidla kategorie N1 nebo na přívěsu, jež má dostatečnou užitečnou hmotnost. V prvním případě pro něj platí rychlostní limity 50 km/h v obci, 90 km/h mimo obec a 130 km/h na dálnicích a rychlostních komunikacích. V případě, že bude přepravován na přívěsu, maximální povolená rychlost v obci zůstává 50 km/h, ale na všech komunikacích mimo obec platí 80km/h, a to včetně rychlostních.

Brotie GL130-35/150 může být po vyčištění převážen jakýmkoli nákladním vozidlem nebo přívěsem. Rychlostní omezení v případě převozu nákladním vozidlem budou 50 km/h v obci a 90 km/h na všech ostatních typech komunikací. Pro převoz na přívěsu platí stejná omezení jako u Brotie HW-35/7, tedy 50 km/h v obci a 80 km/h na ostatních komunikacích mimo obec, a to včetně rychlostních.

Všechny rychlostní limity, jež jsem uvedl, mohou být změněny místní úpravou. V případě, že místní úprava umožňuje jet vyšší rychlostí, než je maximální zde uvedená pro konkrétní specifikaci transportního vozidla, musí řidič dodržet maximální rychlost

uvedenou zde v textu, tj. 130 km/h pro lehké užitkové vozidlo, 90 km/h pro nákladní vozidlo nad 3,5 t a 80 km/h pro vozidlo s přívěsem.

7.4. Pravidla pro manipulaci a obsluhu kompresorové jednotky a systému pro stlačený vodík

Obsluhu zařízení smí provádět pouze pověření pracovníci KVM, kteří jsou zdravotně způsobilí, prokazatelně se seznámili s předpisy pro provoz kompresorové jednotky, požárním řádem a poplachovými směrnicemi a byli zaškoleni v obsluze těchto zařízení. Samostatně smí obsluhu vykonávat jen pracovníci, jež byli řádně přezkoušeni. Přezkoušení musí zajistit KVM.

Kompresorová jednotka se musí před započetím provozu umístit tak, aby byly veškeré měřicí přístroje a armatury přehledné, a aby plněné nádoby, spojovací potrubí, přetlakové ventily a ostatní zařízení byly snadno dostupné pro obsluhu, zajištěné proti pádu a nebyla ovlivněna funkce bezpečnostních systémů.

Kompresorová jednotka musí být po montáži, opravě nebo rekonstrukci přezkoušena na pevnost a těsnost. Tato zkouška se provádí pneumaticky (využívá se vzduch nebo inertní plyn), nebo hydraulicky (nejčastěji vodou). Předepsaným tlakem pro zkoušku těsnosti je nejvyšší hodnota nastaveného tlaku pojistného systému. Pro zkoušku pevnosti je předepsaný tlak roven 1,43 násobku nejvyšší hodnoty tlaku pojistného systému. Při zkoušce pevnosti potrubí se nejprve dosáhne 0,6 předepsané hodnoty přetlaku, poté se zkouška přeruší (setrvá se na této hodnotě po potřebnou dobu) a potrubí se zkontroluje, nejsou-li na něm patrné stopy začínající deformace nebo poškození.

Pokud se neobjeví žádné stopy porušení potrubí, pokračuje se zvyšováním tlaku až na předepsanou hodnotu, na které se pak setrvá 30 minut. Není-li ani tehdy zjištěno žádné porušení potrubí, je shledáno vyhovujícím. Vyhoví-li potrubí zkoušce pevnosti, provede se test těsnosti.

Potrubí se ponechá v klidu až do ustálení teploty a zkušebního přetlaku, po ustálení se nastaví přetlak na předepsanou hodnotu a po jejím dosažení se takto potrubí nechá minimálně jednu hodinu. Při pneumatické zkoušce se zjišťuje teplota a tlak v systému po dobu zkoušky. Zařízení se považuje za těsné, pokud v něm nedojde za dobu dvou hodin k poklesu tlaku. Pokud v průběhu zkoušky dojde k poklesu okolní teploty, přepočítává se tlak podle následující rovnice:

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1}(p_1 + p_a) - p_a \quad (5)$$

kde

p_1 je tlak (přetlak) v kPa při teplotě T_1 v K na začátku zkoušky

p_2 je tlak (přetlak) v kPa při teplotě T_2 v K na konci zkoušky

p_a je atmosférické tlak v kPa

Hydraulická zkouška těsnosti se provádí tlakoměrem, nejméně třídy přesnosti 1, přičemž během dvou hodin nesmí dojít k poklesu tlaku zkušební látky. Dále se také provádí vizuální kontrola potrubí, jestli na něm nedochází k rosení na suchém povrchu. Pokud je obojí v pořádku, posuzuje se zařízení jako těsné a vyhovující.

Nevyhoví-li zařízení při zkoušce, musí se znovu provést po odstranění závad. Zkouška se také musí opětovně provést v případě, že zařízení nebylo v provozu (pod tlakem) po dobu delší než 6 měsíců. Před uvedením zařízení do provozu, například z důvodu opravy, zkoušky, rekonstrukce nebo delšího odstavení z provozu, musí být odvzdušněno.

Po provedení tlakové zkoušky a před spuštěním provozu s vodíkem musí být potrubí a veškeré připojené systémy vyčištěny od kyslíku. Toto se provádí vyprázdněním, vyčištěním (přivedením inertního plynu, například dusíku) nebo propláchnutím a následným odvětráním. Na závěr je třeba ověřit, že v systému obsah zbytkového kyslíku nepřekračuje 1 %.

Při používání kompresorové jednotky ve venkovním prostoru je třeba zamezit přístupu k ní nepovolaným osobám a zajistit její ochranu před povětrnostními vlivy a přímým slunečním zářením.

Při práci s jednotkou se musí vést záznamy o jejím využívání, které musí obsahovat následující informace:

- datum plnění
- jméno a příjmení obsluhující osoby
- místo plnění
- množství a typy plněných nádob a jejich identifikaci

Před započítáním plnění tlakových lahví je potřeba překontrolovat údaje a barevné označení nádob, aby se předešlo záměně s nádobami pro jiný plyn. Hmotnost náplně

tlakových lahví se ověřuje na kontrolní váze, vážením před a po plnění. Nádoby se smí plnit na maximální dovolený plnicí tlak, jenž je vyražen na nádobě při srovnávací teplotě 15°C.

Po naplnění nádoby se uzavřou ventily a zkontroluje se těsnost výstroje nádoby. V případě, že ventil nádoby není zabezpečen otevřeným ochranným kloboučkem, musí se po odpojení od kompresorové jednotky okamžitě zabezpečit ochranným kloboučkem. Pokud nejsou nádoby plněny nebo vyprazdňovány, musí být ochranný klobouček nasazený u plných i prázdných nádob. Manipulace s nádobou pomocí uzavřeného ochranného kloboučku je možná, pouze je-li nádoba vybavena také ochranným kloboučkem otevřeným.

Je zakázáno plnit nádoby:

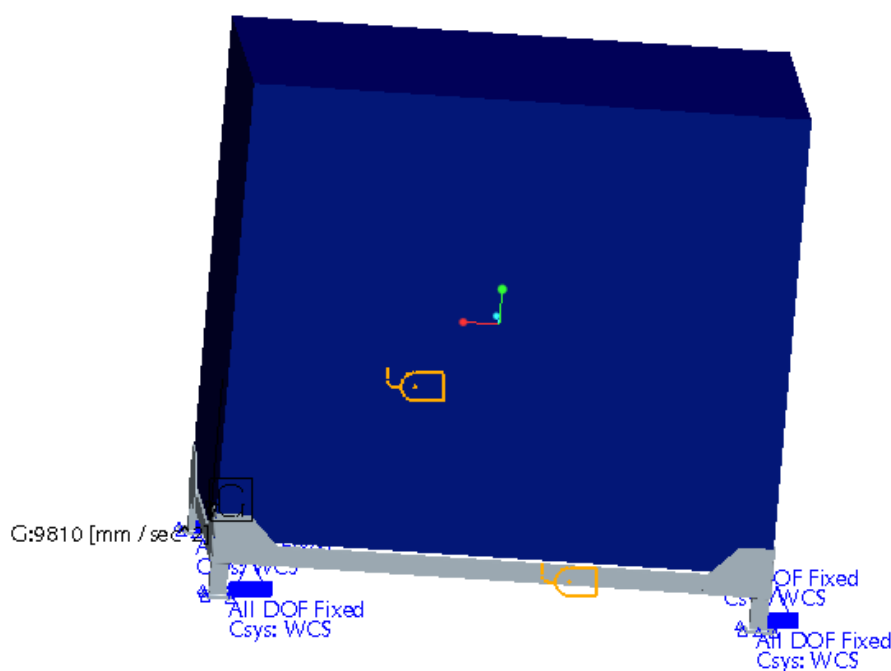
- u nichž je prošlá lhůta periodické zkoušky
- které nejsou náležitě barevně označeny a nemají vyražené značení
- které mají poškozenou výstroj nebo netěsné ventily
- jejichž povrch je poškozen (trhliny, koroze, patrná tvarová deformace)
- které byly vyřazeny z provozu při zkouškách
- u nichž je podezření, že by mohly obsahovat jiný druh plynu
- které nemají předepsanou výstroj
- jejichž používání nebylo schváleno

Pokud se před plněním zjistí, že byla nádoba napuštěna jiným plynem nebo látkou, nebo je silně znečištěná, musí se nejprve důkladně vyčistit. Vadné nádoby, jejichž oprava není možná, nebo by byla neúměrně nákladná, se musí prokazatelně znehodnotit, aby nemohlo dojít k jejich nechtěnému použití.

8. KONSTRUKCE PODVOZKU PRO Brotie HW-35/7

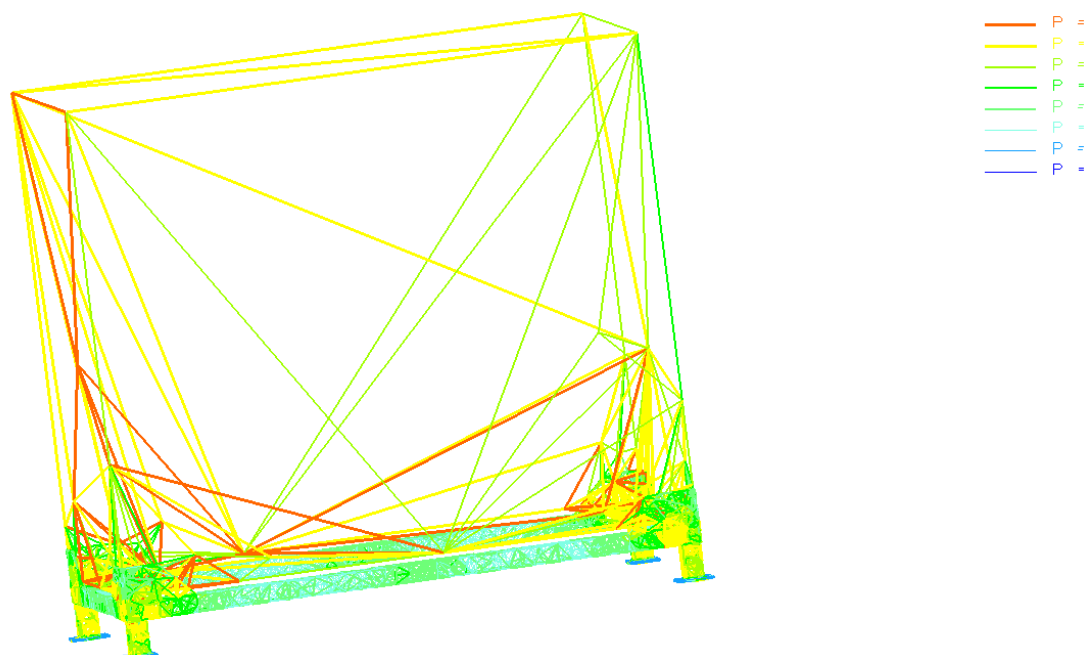
Na konstrukci podvozku jsem zvolil uzavřené profily čtvercového průřezu s rozměry 50x50 mm a tloušťce stěny 3 mm z materiálu 11 373.0. Tento materiál jsem zvolil s ohledem na jeho pevnostní charakteristiky a zaručenou tavnou svařitelnost. Pro zjištění deformací a napětí v materiálu jsem použil metodu konečných prvků (dále označovanou jako MKP). Výsledky simulací namáhání a deformací rámu a svárů jsou na přiložených obrázcích a výkresy sestavy i jednotlivých dílů jsou jako příloha této práce.

Vzhledem k tomu, že výrobce nebyl ochoten dodat výkresy nabídnuté jednotky, byl při simulacích kompresor nahrazen „černou krabicí“ o stejné hmotnosti a rozměrech. Vzhledem k tomu, že reálný kompresor nemusí mít rovnoměrné rozložení hmotnosti, byla hmotnost kompresoru při simulacích násobena koeficientem 1,2.



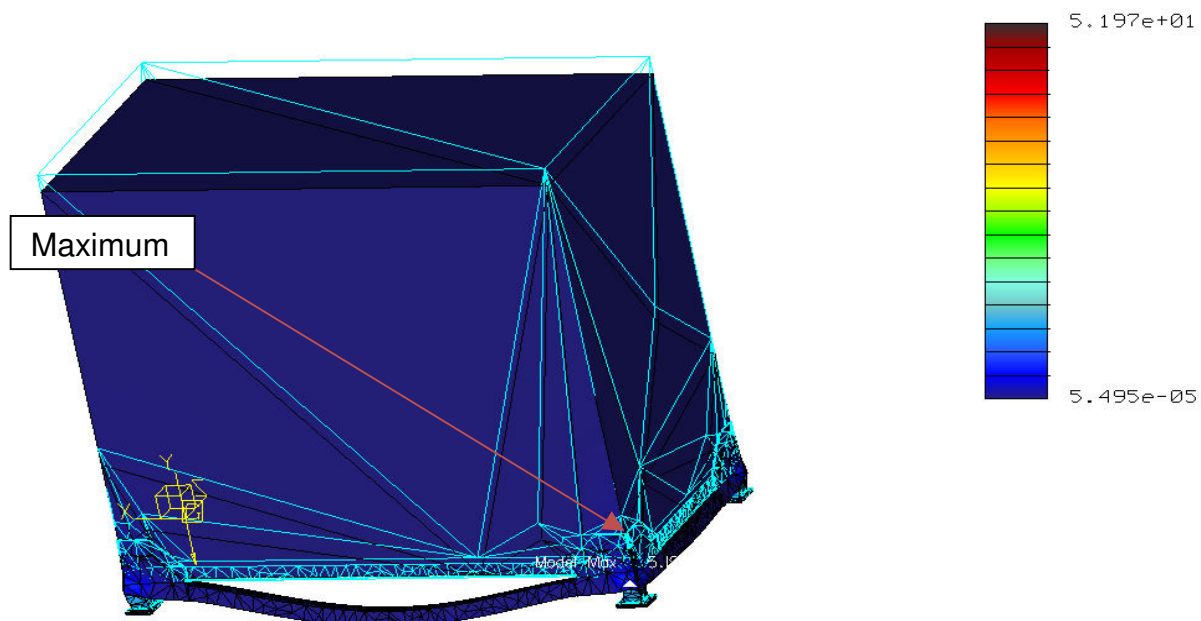
Obr. 12 Model rámu pro výpočet MKP

Vazby modelu jsou definovány pomocí spodní podstavy simulující podlahu a odebírající všechny stupně volnosti. Silová část je pak definována pomocí tíhy kompresoru, která je simulovaná dílem položeným na stojanu s identickými základními rozměry jako umísťovaný kompresor. Hustota dílu je upravena tak, aby odpovídala celkové váze jednotky.



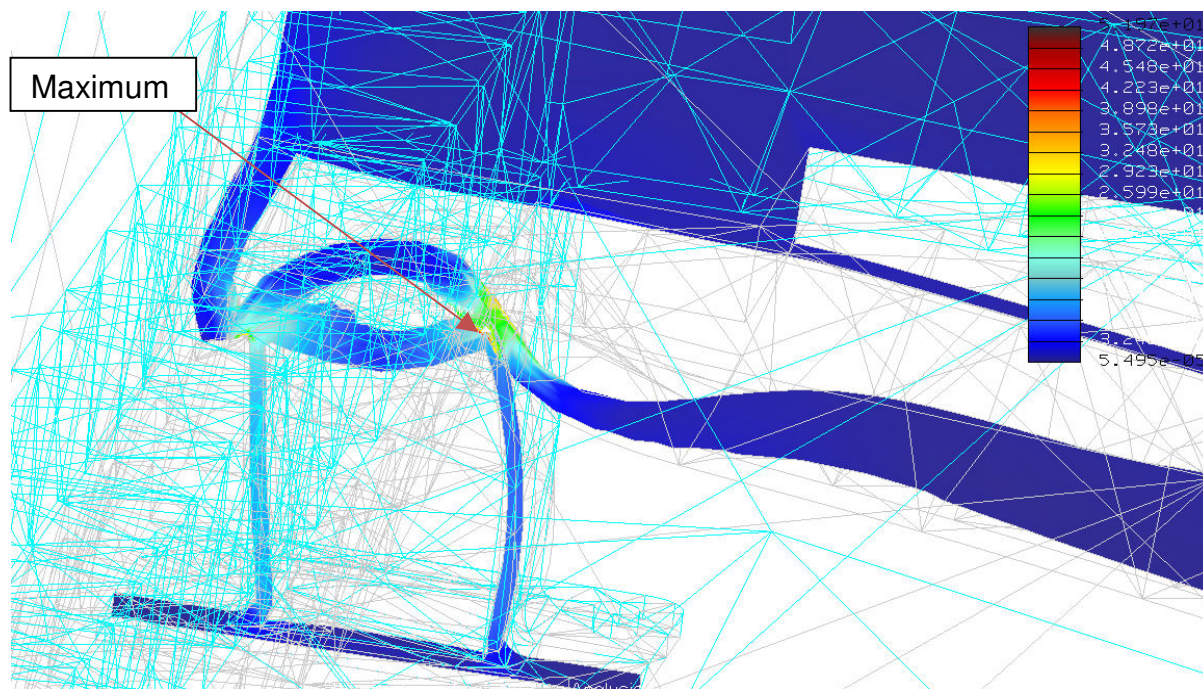
Obr. 13 P-LEVEL stupeň polynomu nutný pro výpočet napětí a deformací

Pro úspěšné splnění okrajových podmínek analýzy bylo nutné zjemnění sítě vygenerovaných geometrických elementů. To bylo provedeno pomocí změny “Nodal Interval ratio“. Sít' elementů byla dostatečně hustá, bylo tedy možné přistoupit ke spuštění analýzy (*Multiple-pass Adaptive*, max. povolený stupeň polynomu 9 a 10% konvergenčí). Na následujících obrázcích a v jejich popisech jsou uvedeny výsledky simulace.

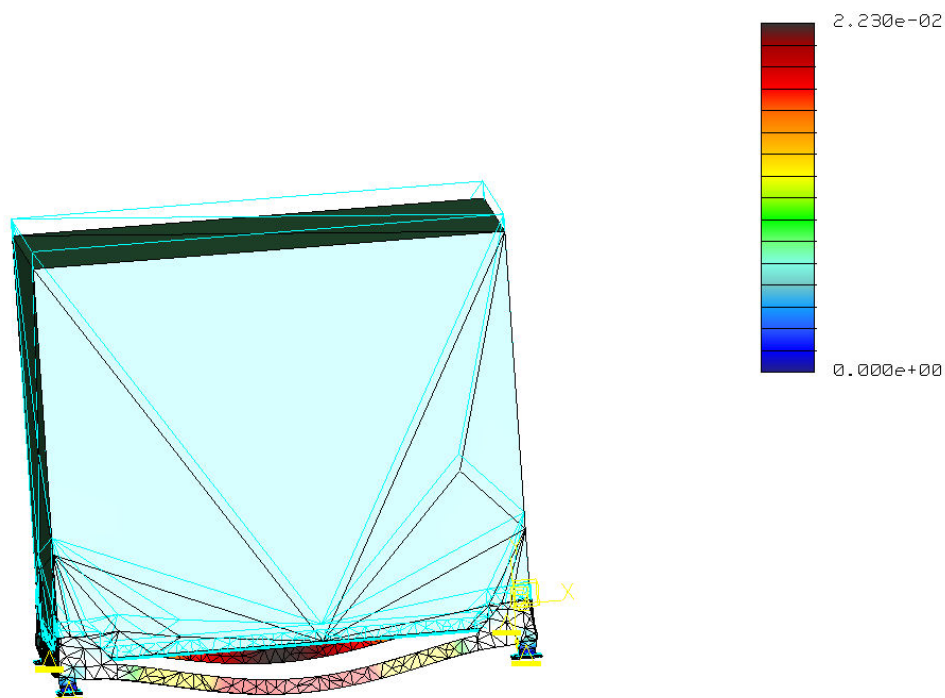


Obr. 14 Průběh napětí v rámu. Maximální zjištěné napětí svařeného rámu je 51.97 MPa, což

je vyhovující hodnota vzhledem k mezi kluzu použitého materiálu (11 373.0), která je 186 MPa.



Obr. 15 Detail místa s maximálním napětím



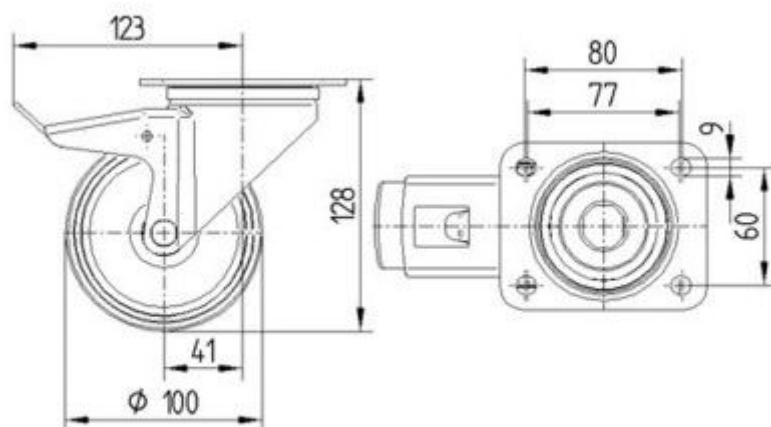
Obr. 16 Deformace rámu ohybem pod zatížením. K maximální deformaci dochází ve středu dlouhé části rámu, její hodnota je 0,022 mm, což je vyhovující.

Výsledkem těchto simulací je závěr, že tato nosná konstrukce splňuje požadavky pro umístění kompresoru a jeho provozu. Jediná další úprava, jež by před použitím měla být provedena je antikorozní ochrana rámu vhodnou barvou nebo lakem.

Jako kolečka pro podvozek jsem zvolil model 3477UOH100P62 od výrobce TENTE. Důvodem výběru byla jejich nosnost (statická nosnost 400 kg, dynamická 200 kg), která odpovídá předpokládanému zatížení podvozku kompresorem. Důležité bylo také to, že tyto kolečka jsou vybavena totální brzdou, která je potřebná k zajištění bezpečnosti obsluhujícího personálu a při přesunech mezi areály v nákladovém prostoru. Je jich potřeba i při samotném používání kompresoru, aby nemohlo dojít k pohybu kompresoru při provozu a následnému poškození vodíkového potrubí, jež by vedlo k úniku vodíku.



Obr. 17 Otočné kolečko s totální brzdou TENTE



Obr. 18 Parametry koleček TENTE

Jednotka nebude s rámem pevně spojena, ale bude na něm jen položena. K tomu, aby se zamezilo posunu jednotky na rámu, slouží zvýšené rohy. Mezi jednotku a rám se umístí pryžové izolační pláty, které zabrání přenosu hluku a vibrací do rámu. Může se jednat například o pryžové desky SBR 65 ST. Jejich upevnění na místě zajistí samotná váha kompresoru.

9. ZÁVĚR

Vodík je jedním z možných zdrojů budoucnosti, který je možné využít jako čisté palivo, a to nejen v dopravě. Z toho důvodu je kromě výroby nutné zajistit i možnosti jeho skladování a transportu. Aby mohl být v plynném stavu kvalitně skladován, je potřeba využívat, s ohledem na jeho rozpínavost a ostatní chemicko-fyzikální vlastnosti, kvalitní zařízení k uskladnění a též k naplňování nádob k tomu účelu určených.

Tato práce se zabírala v rámci jednoho provozu možnostmi využití konkrétního kompresoru nebo kompresorů, které umožní stlačování vodíku po jeho výrobě a případnou manipulaci s těmito kompresory. Při manipulaci s vodíkem při využití kompresorů je nutné dodržet určité podmínky, jež stanovují technické normy, a současně je při manipulaci s kompresory nutné dodržovat i další pravidla.

V teoretické části této práce došlo k seznámení s vodíkem jako prvkem, s jeho chemicko-fyzikálními vlastnostmi. Následně byly zjištěny možnosti skladování vodíku a možnosti jeho transportu a v neposlední řadě též bezpečnostní pravidla pro manipulaci s tímto plynem. Všechny tyto údaje bylo potřebné nejdříve zjistit, aby bylo možné přistoupit k další části této práce, která se blíže zabírala již samotnou realizací a naplněním předmětu této práce.

Předmětem bylo tedy stanovit nejvhodnější kompresor, či kompresory pro využití v rámci KVM, kdy byly stanoveny určité výchozí parametry. Za tímto účelem byli osloveni výrobci kompresorů, aby nabídli kompresory, jež budou těmto podmínkám vyhovovat. Poté byly došlé nabídky srovnány s požadovanými parametry a byly vybrány kompresory, které odpovídají potřebám KVM.

Poté, co již byly známy kompresory a jejich technické parametry, mohly být navrženy možnosti jejich mobility, které spočívají u menšího kompresoru v realizaci vlastního menšího zařízení zajišťujícího manipulaci s kompresorem, a u většího v pořízení příslušného nákladního automobilu nebo dostačujícího přívěsu, který zajistí jeho mobilitu. V případě menší jednotky se jednalo o kompletní návrh podvozku a jeho otestování metodou konečných prvků pro ověření jeho vlastností, při kterých se potvrdilo, že je rám pro jednotku dostatečně dimenzovaný. Poté, co byly tyto údaje známy a byly navrženy možnosti mobility, byly stanoveny podmínky pro manipulaci a dopravu těchto kompresorů. Podmínky pro manipulaci byly uvedeny v této zprávě a jsou také uvedeny v rámci jejich provozních řádů, které byly vypracovány v souladu s normou ČSN 38 6405 Plynová zařízení a jež jsou přílohami této práce č. 1 a č. 2.

Zadání pro tuto práci bylo tedy zcela splněno a výsledkem je zjištění vhodných kompresorů, zajištění jejich mobility v rámci využití pro KVM a sestavení provozních řádů, na základě kterých mohou být tyto kompresory provozovány.

Seznam použité literatury

- [1] Tuček, V., Dvořáková L., Hanzal J.: Vodík, Praha, Červenec 2004
- [2] ČSN 66 4435 Vodík plynňý stlačený
- [3] ČSN 07 8304 Tlakové nádoby na plyny – Provozní pravidla
- [4] ČSN 10 5190 Kompresorové stanice pro nebezpečné plyny
- [5] Kaminský, J., Kolarčík, K.: Kompresory, VŠB – TU Ostrava
- [6] Pracovní skupina PS-6 České Asociace Technických Plynů: Stanice na plynňý vodík
(překlad EIGEA - European Industrial Gases Association) Brusel 2006
- [7] Leinveber, J., Vávra, P.: Strojnické Tabulky, Albra, Úvaly 2003
- [8] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu),

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Provozní řád kompresorové jednotky na stlačený vodík Brotie HW 35/7

Příloha č. 2: Provozní řád kompresorové jednotky na stlačený vodík Brotie GL130-35/150

Provozní řád kompresorové jednotky na stlačený vodík
Brotie HW 35/7

Obsah:

1. Kontakty
2. Technické parametry jednotky
3. Osoby oprávněné k obsluze jednotky
4. Popis zařízení a požadavky na jeho umístění
 - 4.1. Zkouška vodíkového systému
5. Charakteristika plynů, pro které může být jednotka používána
6. Informace o výrobci a dodavateli
7. Pravidla pro práci s jednotkou

1. Důležité kontakty:

Pohotovostní služba:	485 105 050
Protiplynová služba:	1239
Záchranná služba:	155
Hasiči:	150
Ohlašovna požáru:	950 470 111
Zodpovědný vedoucí:	dle pověření provozovatele

2. Technické parametry jednotky

Bezmazný vodíkový kompresor Brotie

Model	HW-35/7
Objemový průtok	35 Nm ³ h ⁻¹
Stupně komprese	3
Vstupní tlak	atmosférický
Výstupní tlak	7 bar
Výstupní teplota	≤50 °C
Teplota okolí	normální podnebí (-20 až 30 °C)
Chlazení	vodou, 0.5 t.h ⁻¹
Mazání	bez mazání

Odolnost před výbuchem	třída D \square CT4
Otáčky	600 r.min ⁻¹
Nutný příkon	5.5 kW
Průměr hrdla vstupu	40 mm
Průměr hrdla výstupu	20 mm
Hmotnost	650 kg
Vnější rozměry	1650*850*1400 mm

3. Osoby oprávněné k obsluze jednotky

Obsluhu zařízení smí provádět pouze pověřeni pracovníci KVM, kteří jsou zdravotně způsobilí, prokazatelně se seznámili s předpisy pro provoz kompresorové jednotky, požárním řádem a poplachovými směrnicemi a byli zaškoleni v obsluze těchto zařízení.

Samostatně smí obsluhu vykonávat jen pracovníci, jež byli řádně přezkoušeni. Přezkoušení musí zajistit KVM.

4. Popis zařízení a požadavky na jeho umístění

Jedná se o bezmazný kompresor pro stlačování vodíku. Musí být umístěn tak, aby byly veškeré měřicí přístroje a armatury přehledné, a aby byly plněné nádoby, spojovací potrubí, přetlakové ventily a ostatní zařízení snadno dostupné pro obsluhu, zajištěné proti pádu a nebyla ovlivněna funkce bezpečnostních systémů.

Při používání uvnitř budov musí být místnost dobře odvětrávána. Toto odvětrání musí být umístěno u stropu a nesmí být napojeno na sběrná potrubí. Odvětrání musí být vyvedeno do prostoru, kde nehrozí kumulace vodíku.

V případě, že by bylo jednotku třeba využít ve venkovních prostorách, je nutné zabezpečit ji před povětrnostními vlivy, přímým slunečním zářením, a také zamezit přístupu nepovolaných osob k ní. Veškeré další činnosti, které nesouvisí s provozováním jednotky, musí být prováděny v dostatečné vzdálenosti od jednotky. Tyto vzdálenosti jsou uvedeny v tabulce.

Typický druh venkovní expozice	Vzdálenost od možných zdrojů úniku (m)
1. Otevřený oheň a další zdroje vznícení (včetně elektrických)	5
2. Hranice provozovny a místa, kde se budou lidé pravděpodobně shromažďovat, jako jsou vozové parky, jídelny atd.	8
3. Dřevěné budovy nebo stavby	8
4. Otvory ve zdech v kancelářích, dílnách	5
5. Nad zemí hromadně skladované hořlavé kapaliny a uskladnění LPG v souladu s národními zákony tam, kde existují, pro specifické látky. Jinak	8
6. Pod zemí hromadně skladované hořlavé kapaliny a LPG	
6.1 Nádrž (horizontální vzdálenost od pláště)	3
6.2 Větrání nebo připojení	5
7. Uskladnění tlakových lahví s hořlavými plyny jinými než vodík	5
8. Uskladnění plynného kyslíku (v tlakových lahvích)	5
9. Skladování tekutého kyslíku (kapacita cisterny menší než 125 000 litrů)	8
10. Uskladnění nehořlavých kryogenních kapalin kromě kyslíku, např. argon, dusík	5
11. Uskladnění hořlavého materiálu, například dříví	8

Pokud se jednotka připojuje k rozvodům v místě použití, je nutné tyto rozvody nejdříve přezkoušet na pevnost a těsnost.

4.1. Zkouška vodíkového systému

Zkoušky se provádějí hydraulicky nebo pneumaticky. Postup při zkouškách je následující.

Předepsaným tlakem pro zkoušku těsnosti je nejvyšší hodnota nastaveného tlaku pojistného systému.

Pro zkoušku pevnosti je předepsaný tlak roven 1,43 násobku nejvyšší hodnoty tlaku pojistného systému

Při zkoušce pevnosti potrubí se nejprve dosáhne 0,6 předepsané hodnoty přetlaku, poté se zkouška přeruší (setrvá se na této hodnotě po potřebnou dobu) a potrubí se zkontroluje, nejsou-li na něm patrné stopy začínající deformace nebo poškození.

Pokud se neobjeví žádné stopy po porušení potrubí, pokračuje se zvyšováním tlaku až na předepsanou hodnotu, na které se pak setrvává 30 minut.

Není-li zjištěno žádné porušení potrubí, je shledáno vyhovujícím.

Vyhoví-li potrubí zkoušce pevnosti, provede se test těsnosti. Potrubí se ponechá v klidu až do ustálení teploty a zkušebního přetlaku, po ustálení se nastaví přetlak na předepsanou hodnotu a po jejím dosažení se takto potrubí nechá minimálně jednu hodinu.

Při pneumatické zkoušce se zjišťuje teplota a tlak v systému po dobu zkoušky. Zařízení se považuje za těsné, pokud v něm nedojde za dobu dvou hodin k poklesu tlaku.

Pokud v průběhu zkoušky dojde k poklesu okolní teploty, přepočítává se tlak podle následující rovnice:

$$p_2 = T_2/T_1(p_1 + p_a) - p_a$$

kde

p_1 je tlak (přetlak) v kPa při teplotě T_1 v K na začátku zkoušky

p_2 je tlak (přetlak) v kPa při teplotě T_2 v K na konci zkoušky

p_a je atmosférický tlak v kPa

Hydraulická zkouška těsnosti se provádí tlakoměrem, nejméně třídy přesnosti 1, přičemž během dvou hodin nesmí dojít k poklesu tlaku zkušební látky. Dále se také provádí vizuální kontrola potrubí, jestli na něm nedochází k rosení na suchém povrchu. Pokud je obojí v pořádku, posuzuje se zařízení jako těsné a vyhovující.

Nevyhoví-li zařízení při zkoušce, musí se znovu provést po odstranění závad.

Zkouška se také musí provést v případě, že zařízení nebylo v provozu (pod tlakem) po dobu delší než 6 měsíců.

5. Charakteristika plynů, pro které může být jednotka používána

Jednotka se může používat pouze pro stlačování vodíku.

Jeho základní vlastnosti jsou:

Hustota:	$0,0899 \text{ kg.m}^{-3}$
Teplota tání	$-259,125 \text{ }^{\circ}\text{C} = 14,025 \text{ K}$
Teplota varu	$-252,882 \text{ }^{\circ}\text{C} = 20,268 \text{ K}$
Kritická teplota	$-239,96 \text{ }^{\circ}\text{C} = 33,19 \text{ K}$
Měrná tepelná kapacita	$14304 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Dolní mez výbušnosti	4% obj.
Horní mez výbušnosti	75% obj.

Vodík není jedovatý, ale vzhledem k tomu, že vytlačuje kyslík, tak v případě vyšší koncentrace působí dusivě.

6. Informace o výrobcí a dodavateli

Výrobce: BROTIE Technology Company Limited
Room C121, FENGYU Office Building, No.115 Fucheng Road,
Haidian District, Beijing China
100142

Tel: +86 10-88121032

Mobil: +86 13811167683

sales@brotie.com

jackyzhang_brotie@yahoo.com

7. Pravidla pro práci s jednotkou

Při práci s jednotkou se musí vést záznamy o jejím využívání, které musí obsahovat následující informace:

- datum plnění
- jméno a příjmení obsluhující osoby
- místo plnění

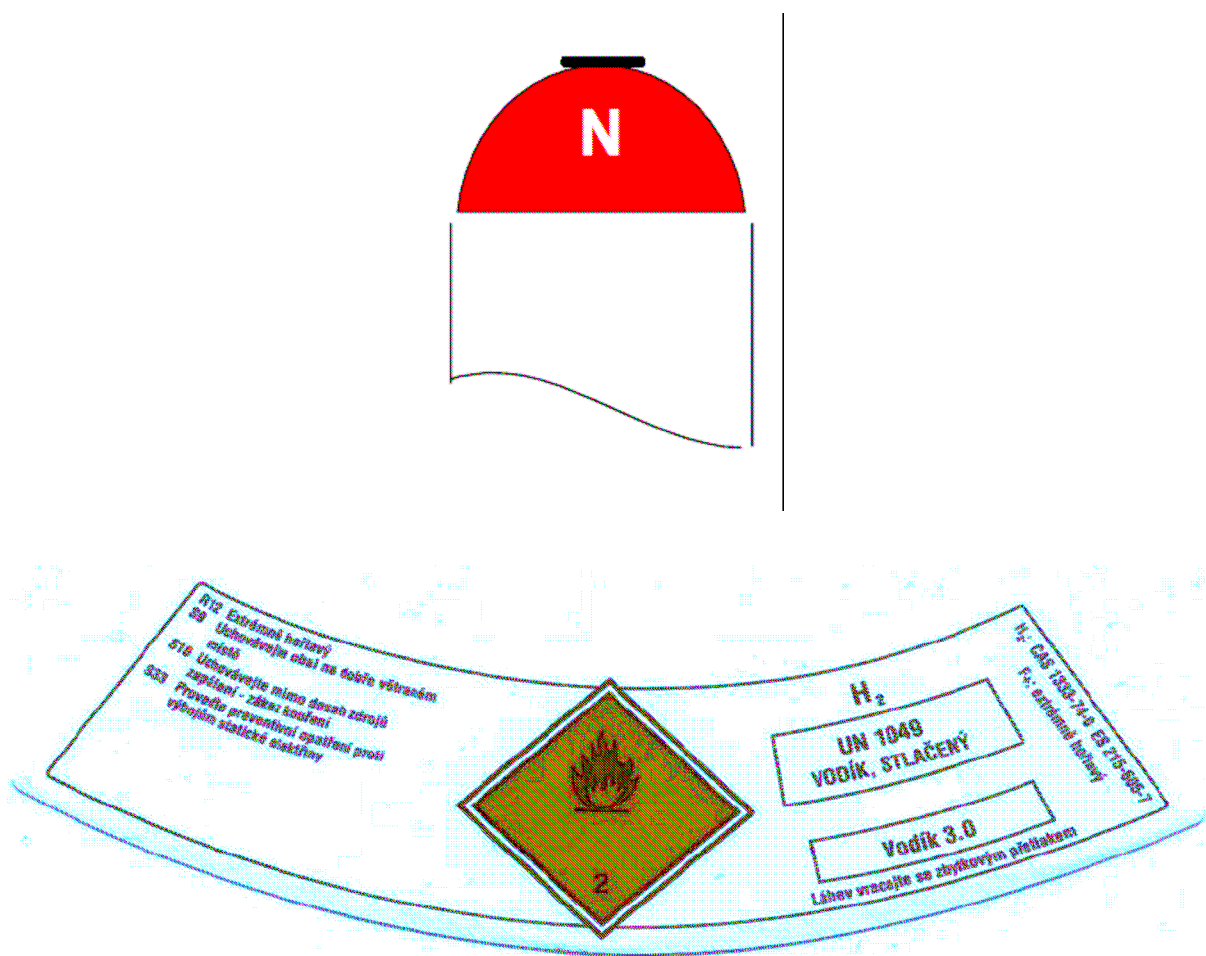
- množství a typy plněných nádob a jejich identifikaci

Před uvedením zařízení do provozu, například z důvodu opravy, zkoušky, rekonstrukce nebo delšího odstavení z provozu, nebo převozu na jiné pracovní místo, musí být odvzdušněno.

Před započítím plnění tlakových nádob je zapotřebí zkontrolovat následující skutečnosti:

- že je jednotka pevně ustavená a má zabrzdné pojezdové kolečka
- že jsou připravené nádoby určeny pro plnění vodíkem, jsou náležitě popsány a barevně označeny a nevztahuje se na ně žádná z níže uvedených vad, která by vyloučila jejich používání
- vizuálně zkontrolovat jednotku, veškeré příslušenství a připravené nádoby po stopách možného poškození
- že je plněná nádoba řádně připojena k jednotce a nemůže dojít k jejímu samovolnému odpojení od jednotky

Vzorové barevné označení a štítek s popiskem pro nádoby na stlačený vodík:



Pokud vše odpovídá, můžeme začít s plněním.

Hmotnost náplně tlakových lahví se ověřuje na kontrolní váze vážením před a po plnění.

Nádoby se smí plnit na maximální dovolený plnicí tlak, jež je vyražen na nádobě při srovnávací teplotě 15°C.

Po naplnění nádoby se uzavřou ventily a zkontroluje se těsnost výstroje nádoby.

V případě že ventil nádoby není zabezpečen otevřeným ochranným kloboučkem, musí se po odpojení od kompresorové jednotky okamžitě zabezpečit ochranným kloboučkem.

Pokud nejsou plněny nebo vyprazdňovány, musí být ochranný klobouček nasazený u plných i prázdných nádob.

Manipulace s nádobou pomocí uzavřeného ochranného kloboučku je možná, pouze je-li nádoba vybavena také ochranným kloboučkem otevřeným.

Je zakázáno plnit nádoby:

- u nichž je prošlá lhůta periodické zkoušky
- které nejsou náležitě barevně označeny a nemají vyražené značení
- které mají poškozenou výstroj nebo netěsné ventily
- jejichž povrch je poškozen (trhliny, koroze, patrná tvarová deformace)
- které byly vyřazeny z provozu při zkouškách
- u nichž je podezření, že by mohly obsahovat jiný druh plynu
- které nemají předepsanou výstroj
- jejichž používání nebylo schváleno

Pokud se před plněním zjistí, že byla nádoba napuštěna jiným plynem nebo látkou, nebo je silně znečištěná, musí se nejprve důkladně vyčistit

Vadné nádoby, jejichž oprava není možná nebo by byla neúměrně nákladná, se musí prokazatelně znehodnotit, aby nemohlo dojít k jejich nechtěnému použití.

Provozní řád kompresorové jednotky na stlačený vodík
Brotie GL130-35/150

Obsah:

1. Kontakty
2. Technické parametry jednotky
3. Osoby oprávněné k obsluze jednotky
4. Popis zařízení a požadavky na jeho umístění
 - 4.1. Zkouška vodíkového systému
5. Charakteristika plynů, pro které může být jednotka používána
6. Informace o výrobcí a dodavateli
7. Pravidla pro práci s jednotkou

1. Důležité kontakty:

Pohotovostní služba:	485 105 050
Protiplynová služba:	1239
Záchranná služba:	155
Hasiči:	150
Ohlašovna požáru:	950 470 111
Zodpovědný vedoucí:	dle pověření provozovatele

2. Technické parametry jednotky

Membránový vodíkový kompresor Brotie

Model	GL130-35/150
Objemový průtok	130 Nm ³ h ⁻¹
Vstupní tlak	Atmosférický
Výstupní tlak	150 bar
Výstupní teplota	≤45 °C
Teplota okolí	Normální podnebí (-20 - 30 °C)
Chladicí systém	vodní 3 t.h ⁻¹
Nutný příkon	22 kW
Objem oleje	120 l
Hmotnost	4000 kg
Rozměry	2000*1400*1650 mm

3. Osoby oprávněné k obsluze jednotky

Obsluhu zařízení smí provádět pouze pověření pracovníci KVM, kteří jsou zdravotně způsobilí, prokazatelně se seznámili s předpisy pro provoz kompresorové jednotky, požárním řádem a poplachovými směrnicemi a byli zaškoleni v obsluze těchto zařízení.

Samostatně smí obsluhu vykonávat jen pracovníci, jež byli řádně přezkoušeni. Přezkoušení musí zajistit KVM.

4. Popis zařízení a požadavky na jeho umístění

Jedná se o membránový kompresor pro stlačování vodíku. Musí být umístěn tak, aby byly veškeré měřicí přístroje a armatury přehledné, a aby byly plněné nádoby, spojovací potrubí, přetlakové ventily a ostatní zařízení snadno dostupné pro obsluhu, zajištěné proti pádu a nebyla ovlivněna funkce bezpečnostních systémů.

Při používání uvnitř budov musí být místnost dobře odvětrávána. Toto odvětrání musí být umístěno u stropu a nesmí být napojeno na sběrná potrubí. Odvětrání musí být vyvedeno do prostoru, kde nehrozí kumulace vodíku.

V případě, že by bylo jednotku třeba využít ve venkovních prostorách, je nutné zabezpečit ji před povětrnostními vlivy, přímým slunečním zářením, a také zamezit přístupu nepovolaných osob k ní. Veškeré další činnosti, které nesouvisí s provozováním jednotky, musí být prováděny v dostatečné vzdálenosti od jednotky. Tyto vzdálenosti jsou uvedeny v tabulce.

Typický druh venkovní expozice	Vzdálenost od možných zdrojů úniku (m)
1. Otevřený oheň a další zdroje vznícení (včetně elektrických)	5
2. Hranice provozovny a místa, kde se budou lidé pravděpodobně shromažďovat, jako jsou vozové parky, jídelny atd.	8
3. Dřevěné budovy nebo stavby	8
4. Otvory ve zdech v kancelářích, dílnách	5
5. Nad zemí hromadně skladované hořlavé kapaliny a uskladnění LPG v souladu s národními zákony tam, kde existují, pro specifické látky. Jinak	8
6. Pod zemí hromadně skladované hořlavé kapaliny a LPG	
6.1 Nádrž (horizontální vzdálenost od pláště)	3
6.2 Větrání nebo připojení	5
7. Uskladnění tlakových lahví s hořlavými plyny jinými než vodík	5
8. Uskladnění plynného kyslíku (v tlakových lahvích)	5
9. Skladování tekutého kyslíku (kapacita cisterny menší než 125 000 litrů)	8
10. Uskladnění nehořlavých kryogenních kapalin kromě kyslíku, např. argon, dusík	5
11. Uskladnění hořlavého materiálu, například dříví	8

Pokud se jednotka připojuje k rozvodům v místě použití, je nutné tyto rozvody nejdříve přezkoušet na pevnost a těsnost.

4.1. Zkouška vodíkového systému

Zkoušky se provádějí hydraulicky nebo pneumaticky. Postup při zkouškách je následující.

Předepsaným tlakem pro zkoušku těsnosti je nejvyšší hodnota nastaveného tlaku pojistného systému.

Pro zkoušku pevnosti je předepsaný tlak roven 1,43 násobku nejvyšší hodnoty tlaku pojistného systému

Při zkoušce pevnosti potrubí se nejprve dosáhne 0,6 předepsané hodnoty přetlaku, poté se zkouška přeruší (setrvá se na této hodnotě po potřebnou dobu) a potrubí se zkontroluje, nejsou-li na něm patrné stopy začínající deformace nebo poškození.

Pokud se neobjeví žádné stopy porušení potrubí, pokračuje se zvyšováním tlaku až na předepsanou hodnotu, na které se pak setrvá 30 minut.

Není-li zjištěno žádné porušení potrubí, je shledáno vyhovujícím.

Vyhoví-li potrubí zkoušce pevnosti, provede se test těsnosti. Potrubí se ponechá v klidu až do ustálení teploty a zkušebního přetlaku, po ustálení se nastaví přetlak na předepsanou hodnotu a po jejím dosažení se takto potrubí ponechá minimálně jednu hodinu.

Při pneumatické zkoušce se zjišťují teplota a tlak v systému po dobu zkoušky. Zařízení se považuje za těsné, pokud v něm nedojde za dobu dvou hodin k poklesu tlaku.

Pokud v průběhu zkoušky dojde k poklesu okolní teploty, přepočítává se tlak podle následující rovnice:

$$p_2 = T_2/T_1(p_1 + p_a) - p_a$$

kde

p_1 je tlak (přetlak) v kPa při teplotě T_1 v K na začátku zkoušky

p_2 je tlak (přetlak) v kPa při teplotě T_2 v K na konci zkoušky

p_a je atmosférický tlak v kPa

Hydraulická zkouška těsnosti se provádí tlakoměrem, nejméně třídy přesnosti 1, přičemž během dvou hodin nesmí dojít k poklesu tlaku zkušební látky. Dále se také provádí vizuální kontrola potrubí, jestli na něm nedochází k rosení na suchém povrchu. Pokud je obojí v pořádku, posuzuje se zařízení jako těsné a vyhovující.

Nevyhoví-li zařízení při zkoušce, musí se znovu provést po odstranění závad. Zkouška se také musí provést v případě, že zařízení nebylo v provozu (pod tlakem) po dobu delší než 6 měsíců.

5. Charakteristika plynů pro které může být jednotka používána

Jednotka se může používat pouze pro stlačování vodíku.

Jeho základní vlastnosti jsou:

Hustota:	0,0899 kg.m ⁻³
Teplota tání	-259,125 °C = 14,025 K
Teplota varu	-252,882 °C = 20,268 K
Kritická teplota	-239,96 °C = 33,19 K
Měrná tepelná kapacita	14304 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Dolní mez výbušnosti	4% obj.
Horní mez výbušnosti	75% obj.

Vodík není jedovatý, ale vzhledem k tomu, že vytlačuje kyslík, tak v případě vyšší koncentrace působí dusivě.

6. Informace o výrobcí a dodavateli

Výrobce: BROTIE Technology Company Limited
Room C121, FENGYU Office Building, No.115 Fucheng Road,
Haidian District, Beijing China
100142
Tel: +86 10-88121032
Mobil: +86 13811167683
sales@brotie.com
jackyzhang_brotie@yahoo.com

7. Pravidla pro práci s jednotkou

Při práci s jednotkou se musí vést záznamy o jejím využívání, které musí obsahovat následující informace

- datum plnění
- jméno a příjmení obsluhující osoby
- místo plnění
- množství a typy plněných nádob s jejich identifikací

Před uvedením zařízení do provozu, například z důvodu opravy, zkoušky, rekonstrukce nebo delšího odstavení z provozu, nebo převozu na jiné pracovní místo, musí být odvzdušněno.

Před započatím plnění tlakových nádob je zapotřebí zkontrolovat následující skutečnosti:

- že je jednotka pevně ustavená a má zabrzděný podvozek
- že jsou připravené nádoby určeny pro plnění vodíkem, jsou náležitě popsány a barevně označeny a nevztahuje se na ně žádná z níže uvedených vad, která by vyloučila jejich používání
- vizuálně zkontrolovat jednotku, veškeré příslušenství a připravené nádoby kvůli stopám možného poškození
- že je plněná nádoba řádně připojena k jednotce a nemůže dojít k jejímu samovolnému odpojení od jednotky

Vzorové barevné označení a štítek s popiskem pro nádoby na stlačený vodík.



Pokud vše odpovídá, můžeme začít s plněním. Hmotnost náplně tlakových lahví se ověřuje na kontrolní váze vážením před a po plnění.

Nádoby se smí plnit na maximální dovolený plnicí tlak, jež je vyražen na nádobě při srovnávací teplotě 15°C.

Po naplnění nádoby se uzavřou ventily a zkontroluje se těsnost výstroje nádoby.

V případě, že ventil nádoby není zabezpečen otevřeným ochranným kloboučkem, musí se po odpojení od kompresorové jednotky okamžitě zabezpečit ochranným kloboučkem.

Pokud nejsou plněny nebo vyprazdňovány, musí být ochranný klobouček nasazený u plných i prázdných nádob.

Manipulace s nádobou pomocí uzavřeného ochranného kloboučku je možná, pouze je-li nádoba vybavena také ochranným kloboučkem otevřeným.

Je zakázáno plnit nádoby:

- u nichž je prošlá lhůta periodické zkoušky
- které nejsou náležitě barevně označeny a nemají vyražené značení
- které mají poškozenou výstroj nebo netěsné ventily
- jejichž povrch je poškozen (trhliny, koroze, patrná tvarová deformace)
- které byly vyřazeny z provozu při zkouškách
- u nichž je podezření, že by mohly obsahovat jiný druh plynu
- které nemají předepsanou výstroj
- jejichž používání nebylo schváleno

Pokud se před plněním zjistí, že byla nádoba napuštěna jiným plynem nebo látkou, nebo je silně znečištěná, musí se nejprve důkladně vyčistit

Vadné nádoby, jejichž oprava není možná nebo by byla neúměrně nákladná, se musí prokazatelně znehodnotit, aby nemohlo dojít k jejich nechtěnému použití.